

Kvalitetssäkring av kylskåpsplast

Slutrapport

**Rolf Neuendorff
Stena Gotthard Fragmentering AB**

November 1999

AFR-REPORT 269
AFN, Naturvårdsverket
Swedish Environmental Protection Agency
106 48 Stockholm, Sweden

ISSN 1102-6944
ISRN AFR-R--269—SE

Stockholm 1999

Tryck: Naturvårdsverket

SAMMANFATTNING

Projektet "Kvalitetssäkring av kylskåpsplast" har drivits 1997 till 1999 av Stena Bilfragmentering AB och i samarbete med Electrolux AB, Meltic AB, IFP Research AB och avfallsforskningsnämnden (AFN).

Projektet utgör ett applikationsprojekt delfinansierat av AFN inom forskningsområdet plastblandningar.

Målet för projektet var att utveckla teknik för framställning av ett kvalitetssäkrat recyklat genom kostnadseffektiv separering och smältfiltrering samt att finna användning för recyklatet.

Genomförda försök med triboelektrisk separering m fl torra metoder samt våtseparering på bord visar att rening av plastfraktionen i kabelgranulering och en efterföljande separering av styrenplasterna från övriga material på ett våtbord ger bästa resultatet.

Halten PVC och andra störande material kan reduceras till en sådan nivå att recyklatet kan användas i plastprocesser som extrudering och formsprutning.

Under projektet har provkvantiteter i tonskala framställts först som ett rårecyklat på Stena Bilfragmentering, vilket sedan smältfiltrerats hos Meltic respektive hos en tysk plaståtervinnare.

Recyklatet har karakteriserats som ett MIPS (medium impact poly styren) och har provats av IFP i olika avsenden.

IFP har visat att genom tillsats av PPO (Noryl) eller HIPS (high impact poly styren) kan slagseghet och brottöjning förbättras avsevärt.

Provkörningar har planerats och utförts i samverkan med Electrolux.

Av störst intresse är möjligheten att återanvända recyklatet i dess originalanvändning som innerväggar i kylmöbler. Förutsättningen är då en sandwichkonstruktion där recyklatet är omgivet av jungfrulig plast.

Utveckling av sandwichkonstruktioner har skett i samverkan med IFP i ett annat projekt VAMP 14. Utförda prov med tillverkning av plattor och vaccumformning har utfallit väl. Ett problem är dock att det mörka recyklatet syns igenom det yttre plastskiktet.

Applikationen skulle kunna leda till kostnadsbesparingar samt bidra till att uppfylla nya EU-krav på återanvändning av gammal plast i nya hushållsapparater.

Intresset från plastbearbetares sida för recyklatet har varit litet trots ansträngningar i form av seminarium m m.

En potentiell marknad för recyklatet i Sverige uppskattas till minst 1.000 ton men är beroende av ett lågt pris och kvalitetssäkring av recyklatet.

Tillgången på plastfraktion i Sverige och Norge har uppskattas till 2.000 ton av vilket 1.300 ton färdigt recyklat kan framställas.

Utnyttjas befintlig utrustning hos Meltic AB i Lanna samt hos Stena Freonåtervinning i Halmstad skulle med en tillsatsinvestering på ca 1,5 milj kr en produktion av recyklat kunna startas upp med en kapacitet på ca 1.300 årston.

Kalkylerat pris vid en produktion av 1.300 ton kan troligen bli något under 3 kr/kg. Det är under halva priset för nyråvara av HIPS.

Kostnaden för återvinningen är mycket låg jämfört med återvinning av plast från t ex bilar. Återvinning av plasten HDPE från exempelvis en bränsletank i en bil skulle kosta enligt en internationell kalkyl ca 7 kr/kg. Det är betydligt över priset på nyråvara.

Högre kostnad för återvunnen plast jämfört nyråvara har hittills stoppat i stort sett alla ansträngningar att kommersiellt återvinna plast från komplexa produkter som bilar, vitvaror och elektronik.

Traditionellt sker återvinning efter principen källsortering som kan uttryckas ”sort first and shred after”. Men en demontering av komplexa produkter och sortering är mycket dyrt och förutsätter vanligen en småskalig verksamhet, vilket leder till höga kostnader.

Återvinning av kylmöbler exemplifierar det bakvända konceptet för återvinning ”shred first and sort after”. Det medger storskalig verksamhet i linje med all modern processindustri och leder till låga kostnader.

Miljöbedömning med hjälp av en förenklad EPS-metod av alternativa vägar att ta hand om plastfraktionen som idag läggs på deponi visar att materialåtervinning är det klart bästa alternativet.

Plaståtervinning från kylmöbler utgör ett av mycket få exempel på återvinning av end-of-life produkter som både gagnar miljö och kan sänka produktionskostnader.

Med den teknik som utvecklats i projektet blir det möjligt att studera och utveckla kostnadseffektivare lösningar för plaståtervinning av t ex bildelar och hushållsapparater.

En vision är att en bit in på 2000-talet har materialåtervinning av plast från separat fragmenterade produktgrupper som vitvaror kommit igång. I fragmenteringsindustrin har återvunna materialslag kompletterats med plast som antingen kan sättas in som ny plast eller som ny råvara för att göra plast.

SUMMARY

The project Quality Assurance of plastics from end-of-life refrigerators has been carried out during 1997-1999 by Stena Gotthard Fragmentering AB in collaboration with Electrolux AB, Meltic AB, IFP Research AB, the Inst. of Polymer Materials at Chalmers and AFR, the Swedish council of Waste Research.

The project is an application project partly financed by AFR in the research area of mixed plastics.

The objective of the project was to develop a technology to produce a quality assured recyclate by cost efficient separation and meltfiltration processes and to find a use for the recyclate.

Trials with triboelectrical separation and other dry separation methods and with wet separation on a vibrating table have shown that after a precleaning the wet separation will be the most efficient way to separate the styren plastics from other polymers present in refrigerators such as PVC, polyolephines, thermoset plastics and rubbers.

The amount of PVC and other disturbing materials could be reduced to such a level below 1% that the recyclate could be used without problems in injection moulding and extrusion.

During the project test quantities of several thousand kgs have been produced first as a raw recyclate at the Stena Bilfragmentering plant i Halmstad, which later was meltfiltrated either at Meltic or at a German plastic plant.

The recyclate has been characterized by IFP Research as a MIPS (Medium Impact Poly Styren) and has been thoroughly tested.

As the styrens are a mixture of ABS and HIPS which are not compatible the recyclate tends to be rather brittle.

IFP has shown that while most compatibilizers have little effect of the properties additions of PPO (Noryl) and HIPS (High Impact Poly Styren) will improve impact resistance and elongation considerably.

Test trials with coextrusion of recyclate and virgin HIPS were planned and carried out in collaboration with Electrolux.

The most interesting application is the re-use of the recyclate in its original use that is, to make up the innerliners of the refrigerators.

The development of the sandwich construction that is needed for the re-use in innerliner was made by IFP Research. Tests at the Electrolux plants in Swedern were succesful. A remaining problem is the darker colour of the recyclate which can be seen through the outer layer.

The re-use of the recyclate in innerliner could lead to savings in the production of new refrigerators and will help to meet the requirements of 90% re-use and recycling as proposed in the draft for EU directive on Electrical and Electronic Waste.

The available amount of plastics from end-of-life refrigerators in Sweden and Norway have been estimated to 2.000 ton of which 1.300 tons of recycle for re-use could be produced.

The calculated price of the MIPS-recyclate at a production of 1.300 ton may be about 3 SEK / kg (0,35 ECU / kg). This price is only half of the price for the virgin material of HIPS now used for making refrigerator liner.

The cost of recycling is very low compared to plastics recycling from other complex scrap e.g. cars. As an example, an international study on fuel tank recycling has come up with a cost of about 7 SEK (0,80 ECU) per kg HDPE recycle regardless if the tank was going to energy -, feed stock - or material recycling.

The high cost for recycled plastics has hitherto stopped most efforts to recycle plastics from complex end-of-life products such as cars, household appliances and electronics.

The principle of "sort first and shred after" has been the guide line for most recycling projects. However, dismantling of components and sorting are normally very expensive methods and are usually associated with small scale production.

The recycling of refrigerators exemplifies the turn around concept of "shred first and sort after".

In that way large scale processing can be used which is in line with modern process industry and leads to lower costs.

With the help of the EPS-method applied in a simplified way the environmental merits of the material recycling of the plastics from refrigerators have been compared with energy recycling or sending the plastic waste to landfill.

The material recycling shows by far the highest environmental merits.

Plastic recycling from refrigerators constitutes today one of very few examples of end-of-life products recycling that will give both environmental advantages and lower production cost.

With the technology developed by the project it will be possible to study and develop more cost efficient solutions for plastics recycling from e.g car parts and household appliances.

As a result of the project it is envisioned that after the year 2005 plastics recycling will be an additional process in the modern shredder industry whereby plastics from presorted products are material recycled and polymers from mixed complex scrap are either feedstock- or energy recycled.

INNEHÅLL

SAMMANFATTNING	i
SUMMARY	iii
INNEHÅLLSFÖRTECKNING	v
1. BAKGRUND OCH PROJEKTBESKRIVNING	1
1.1 Problembild	1
1.2 Återvinning av kylmöbler	3
1.3 Projektets uppläggning	6
2. GENOMFÖRANDE	8
2.1 Separering, framställning av rårecyklat	8
2.1.1 Plastfraktionens sammansättning	
2.1.2 Rening innan separering	
2.1.3 Försök med triboelektrisk separering	
2.1.4 Försök med annan torr separeringsteknik	
2.1.5 Försök med våtseparering på bord	
2.1.6 Sammanställning av resultat	
2.1.7 Sammanfattning	
2.2 Homogenisering och filtrering, framställning av recyklat	18
2.2.1 Behovet av filtrering	
2.2.2 Försök hos Meltic	
2.2.3 Försök hos Orbit	
2.2.4 Sammanfattning	
2.3 Kvalitetssäkring	20
2.3.1 Karakterisering av recyklatet	
2.3.2 Slagseghetsförbättring	
2.3.3 Stabilisering	
2.3.4 Kvalitetskontroll	
2.3.5 Sammanfattning	
2.4 Applikationer allmänt	21
2.4.1 Åtgärder för att finna användare	
2.4.2 Resultat	
2.5 Applikationer hos Electrolux	23
2.5.1 Sandwichkonstruktion och VAMP 14-projektet	
2.5.2 Förprovning hos IFP	
2.5.3 Extruderade plattor för innervägg i kylmöbler	
2.5.4 Formsprutning av frontpanel på tvättmaskin	
2.5.5 Efterprovning hos IFP	
2.5.6 Sammanfattning	
2.6 Informationsspridning	28
3 MARKNAD	30
3.1 Utredning av svensk marknad 1996	30
3.1.1 Applikationer	
3.1.2 Styrenplaster	
3.1.3 Användningar och volymer av recyklat	
3.1.4 Priser	
3.1.5 Exportmarknad	
3.2 Utvärdering av svensk marknad 1999	32
3.2.1 Användningar och volymer av recyklat	
3.2.2 Priser	
3.2.3 Produktkrav	
3.2.4 Andra drivkrafter	
3.3 Europamarknad	34
3.4 Sammanfattning	35
4 PRODUKTION och EKONOMI	36
4.1 Volymer	36

4.1.1 Sverige och Norden	
4.1.2 Europa	
4.2 Teknik och investering	38
4.2.1 Malning och rening	
4.2.2 Torr metod	
4.2.3 Våt metod	
4.2.4 Smältafiltrering	
4.3 Kostnad	40
4.3.1 Transport	
4.3.2 Tillverkning	
4.3.3 Försäljning	
4.4 Recyklattillverkning på kontinenten	44
4.5 Sammanfattning ekonomi	44
5 BEDÖMNING AV MILJÖKONSEKVENSER	45
5.1 Ansats	45
5.2 Materialåtervinning	46
5.2.1 Kylskåpsplastens sammansättning	
5.2.2 Substitutionsfaktor och sandwichkonstruktion	
5.2.3 Avfall	
5.2.4 Återvinningsprocessen	
5.3 Energiåtervinning	49
5.4 Jämförelse	50
5.5 Sammanfattning	50
6 DISKUSSION	51
6.1 Bedömning av projektresultat	51
6.1.1 Separering	
6.1.2 Smältafiltrering	
6.1.3 Kvalitetssäkring och uppgradering	
6.1.4 Applikationer	
6.1.5 Framställning och kostnad	
6.1.6 Miljöaspekter	
6.2 Kylmöbler som referensobjekt	55
6.2.1 Andra EOL-produkter	
6.2.2 Dagens återvinning av elektronik och vitvaror	
6.2.3 Morgondagens återvinning av vitvaror	
6.2.4 Tekniken shred first- sort after	
6.2.5 Plaståtervinning ur shredderavfallet	
6.2.6 Plaståtervinning genom separat behandling	
6.3 Ta bort hinder för plaståtervinning	63
6.3.1 Pris	
6.3.2 Kvalitet	
6.3.3 Miljöaspekter	
6.2.4 Aktörer	
6.2.5 Shred first - sort after	
7. VISION 2005	67
8. REFERENSER	68
9. BILAGOR	69

1. BAKGRUND OCH PROJEKTBEKRIVNING

1.1 Problembild

1.1.1 Kretsloppssamhälle och materialåtervinning

På 90-talet har kretsloppssamhället blivit målet i Sverige och Europa. Återanvändning och återvinning av material prioriteras. Avfallsförbränning och deponering skall om möjligt undvikas. Inom EU och enskilda länder har nya lagar och regler och synsätt ändrat återvinningsindustrins marknadsförutsättningar.

Producentansvar infördes först för produkter med kort livslängd och stor volym som förpackningar, som ger mycket avfall.

Bilar, datorer och andra mer långlivade produkter kom sedan i blickfånget. Under hela 90-talet har föreskrifter och åtgärder med eller utan producentansvar utretts och diskuterats i Europa på såväl internationell som nationell nivå.

Då seklet går mot sitt slut kan konstateras att EU-förslag till direktiv som gäller återvinning av bilar (1) respektive E + E avfall (2) ännu inte fattats beslut om trots många års handläggning.

Där föreskrivs bl a att återanvändning plus återvinning av material skall uppgå till minst 85% för bilar, 90% för kylmöbler, 90% för andra stora hushållsapparater och 70% för mindre apparater.

I flera länder bl a Sverige håller nya regler på att utformas eller redan implementeras såsom är fallet för skrotbilar (3).

1.1.2 Återvinning av komplext skrot

Komplext skrot

Kasserade fordon, maskiner, apparater, instrument m m som kommer från industri, försvar, hushåll eller offentlig sektor kallas för komplext skrot.

Komplext skrot innefattar flygplan och järnvägsvagnar men också klockor och pace-makers.

De flesta komplexa produkter innehållande stål och andra metaller går då de kasseras via återvinningsföretag av skilda slag till fragmenteringsindustrin. Det komplexa skrotet utgör ca 1/3 av allt skrot. Mängden komplext skrot ökar och därmed andelen fragmenterat skrot.

Fragmentering

Ca 600.000 årston komplext skrot faller i Sverige. Det upparbetas i sk fragmenteringsanläggningar. En fragmentering består av en hammarkvarn som med stor kraft sönderdelar skrotet till handflatsstora bitar. Med magnet och annan teknik utvinns ur det komplexa skrotet ca 70% järn och ca 5% icke-magnetiska metaller. Med en luftström lyfts plast, gummi, textil, skum, färgrester, glas m m bort från skrotet och avskiljs sedan i cykloner.

Denna blandning av organiskt och oorganiskt material utgör fragmenteringsavfallet som f n deponeras. Tillsammans med liknande avfall som uppstår vid efterföljande separering av icke-magnetiska metaller utgör det ca 25% av input till fragmenteringen.

I Sverige faller ca 150.000 årston.

Storskalig återvinning av plast ?

Av denna mängd torde minst 1/3 kunna klassas som termoplaster eller hårdplast. En väsentlig och ökande del utgörs av konstruktionsplaster från de uttjänta produkterna; polypropen, pvc, styrenplaster, amidplaster, polykarbonat m fl.

Kravet på ökad materialåtervinning medför att den storskaliga återvinningen som utvecklats i fragmenteringsindustrin måste modifieras och vidareutvecklas mot effektivare återvinning som också omfattar fler materialslag.

Fragmenteringsindustrin arbetar intensivt med att öka en redan hög återvinningsgrad av stål och metaller för vilka etablerade marknader finns sedan många år.

Den organiska delen av shredderavfallet har ett högt energiinnehåll.

Fragmenteringsindustrin Stena Gotthard Fragmentering AB driver tillsammans med Volvo ett projekt, Återvinning av shredderavfall, finansierat av LIFE Environment och bilsrotningsfonden i syfte att dels återvinna mer metaller och dels framställa ett bränsle ur avfallet (4).

Visioner finns om en vidareutveckling av fragmenteringsindustrins verksamhet till att omfatta storskalig återvinning av plaster och eventuellt andra materialslag. Storskalig plaståtervinning utifrån väldefinierade komplexa skrotslag kan kanske bli ett framtida komplement till extremalternativen energiutvinning genom förbränning och materialåtervinning genom demontering av ren plast.

Grundkonceptet för all återvinning och i synnerhet plaståtervinning anses vara källsortering av materialen i rena fraktioner innan bearbetning. Det kan uttryckas som "sort first - shred after".

Men källsortering har visat sig bli dyrt, speciellt för komplexa produkter. Motsatsen till källsortering är "shred first - sort after".

Frågan är dock om den metoden ger ett användbart plastmaterial.

En avfallström bestående av en blandning av samhällets komplexa skrot innehåller en mångfald av plaster. Möjligheterna att idag efter shredding återvinna plaster ur allt detta komplexa skrot är nästan obefintliga.

På längre sikt däremot borde materialåtervinning av blandplastråvara bestående av polyolefinfamiljen och styrenfamiljen kunna bli en realitet.

Teknologi för identifiering och utsortering av vissa plaster från en avfallström genomgår för närvarande en snabb utveckling.

Utveckling av separeringsteknik och storskalighet ger shredderindustrin kostnadsfördelar.

Ett steg på vägen är att starta med ett mer homogent komplext skrot och söka återvinna plasten.

Ett i många avseenden lämpligt "modellskrot" är uttjänta kylmöbler.

Det kasserade kylskåpet utgör ett typiskt komplext skrot med sin blandning av stål, andra metaller, PUR-isolering, plast m m.

Freonåtervinningsprocessens mekaniska del är modern liten shredderläggning.

Plaståtervinning från kylmöbler utgör därför ett utmärkt referensexempel och erfarenheter härifrån kan ge underlag för att gå vidare med storskalig plaståtervinning av andra komplexa skrotslag.

1.2 Återvinning av kylmöbler

1.2.1 Freonutvinning

I Sverige infördes 1 januari 1995 lag om utvinning av CFC från kylskåp och frysboxar, (samlingsnamn kylmöbler). Motivet är att rädda ozonskiktet. Utvunnen CFC (freoner i dagligt tal) destrueras.

Årligen kasseras i Sverige ca 350.000 kylmöbler. Av dessa återvinns för närvarande ca 300.000. De allra flesta går till en av tre större anläggningar i landet som mekaniskt sönderdelar kylmöblerna, separerar den freoninnehållande isoleringen av skummad polyuretan och ur denna utvinns freon CFC11.

Stena Freonåtervinning i Halmstad är en avdelning inom Stena Bilfragmentering som årligen upparbetar ca 150.000 kylmöbler. Ett principiellt processschema finns i bilaga 1.

Svensk Freonåtervinning ägd av S.E.G ett tyskt företag, AB Gotthard Nilsson och Skafab, som har en mobil anläggning med hemort i Lövsta samt Bjästa Freonåtervinning i Köpmanholmen återvinns på samma sätt som Stena Freonåtervinning i sina anläggningar fraktioner av stål, aluminium och koppar.

Från 1997 har även Danmark och Norge lagstiftat om freonutvinning från kylmöbler. Stena Freonutvinning har i ett flerårigt utvecklingsarbete med bidrag från Miljöteknikfonden (NV) tagit fram ett eget processkoncept och byggt en anläggning för freonutvinning från kylmöbler i Oslo, som drivs av Stena Miljö A/S sedan våren 97.

I Europa görs på liknande sätt freonutvinning ur kylmöbler i Tyskland, Holland, Schweiz och Österrike. Japan startade för ett år sedan. Många andra länder överväger att sätta igång.

I bilaga 2 framgår vilka material som finns i ett typiskt kylskåp.

Polyuretanisoleringen befriad från CFC kan användas som bränsle i cementindustrin.

1.2.2 Plastfraktionen

Plastfraktionen utgör en restprodukt i anläggningarna för freonutvinning. Den innehåller i huvudsak plasterna ABS (Akrylnitril-Butadien-Styren) och HIPS (High Impact Poly Styren) och SAN (Styren- Akrylnitril). Dessa konstruktionsplaster tillhör samma plastfamilj och skulle kunna återanvändas. Återvinningsbar mängd av dessa plaster uppskattas till ca 4 kg / kylmöbel.

Årlig återvinningsbar mängd i Sverige med 300.000 kylmöbler är alltså ca 1.200 årston. Motsvarande mängd för de nordiska länderna är ca 2.500 årston och i Europa minst ca 30.000 årston.

Plastfraktionen föreligger i granulerad form men är starkt förorenad av PUR-skum,

metaller, PVC, hårdplast, andra termoplaster, gummi mm.

F n läggs plastfraktionen från Stena Freonåtervinning på deponi i Halmstad och detsamma torde gälla flertalet andra återvinnare i Sverige och utomlands.

Alternativet energiutvinning medelst förbränning i t ex avfallsförbränningsugn har diskuterats bl. a. med Halmstad Energi.

Bränslevärdet är mycket högt. Men ett problem är innehållet av klor som p g a PVC i tätningstätt och i ledningsisolering som hamnar i plastfraktionen uppgår till minst 3%. Värdet kan jämföras med ca 0,5% klor i vanligt hushållsvfall och ett max. tillåtet värde på 1% som bränsle i cementugnar.

Även ett visst tungmetallinnehåll främst koppar är en störfaktor.

En fördemontering av ledningar och tätningstätt skulle avsevärt minska halten PVC och koppar i restfraktionen men försvårar och fördyrar kylmöbelåtervinningen.

1.2.3 Materialåtervinning av kylskåpsplast / state-of-the-art

Läget i Sverige

I Sverige har *Stena Bilfragmentering* och *Elextrolux* gjort egna försök och utredningar om möjligheten att använda plastfraktionen som idag går på deponi.

Stena Bilfragmentering har inom ramen för utveckling av tekniken för återvinning av kylmöbler och CFC-uttag etappvis genomfört ett utvecklingsarbete under åren 93-96 och i samarbete med bl a Högskolan i Kristianstad, TNO Energy and Environment i Apeldoorn Holland, underleverantörer till Asko-gruppen (kylskåpstillverkning i Osby) såsom STG-Plast i Lönsboda, Meltic AB och IFP.

Undersökningarna startade med utvärdering av ABS och HIPS var för sig och i blandningar från för hand demonterade gamla kylmöbler. Resultatet visade att en återanvändning vid framställning av nya kylmöbler knappast var tekniskt möjligt p g a föroreningar av bl a polyuretan, men också att en användning på andra områden exv för formsprutning av en del enklare produkter var fullt möjlig för en blandning av ABS, HIPS och SAN i de proportioner som de förekom, ca 55% ABS.

En förutsättning för en kommersiell återanvändning var att recykratet hade ett rimligt pris ca 5 - 6 kr/kg och kunde kvalitetssäkras.

I nästa etapp kallad " Framställning av plastrecykrat från kylmöbler " undersöktes om man från mekaniskt sönderdelade kylmöbler kan rena och utsortera en användbar plastblandning och nå samma kvalitet på recykratet som för manuellt demonterade kylmöbler.

I rapport till SNV daterad 960730 konstateras att med våtsepareringsmetod och kontinuerlig smältfiltrering kan ett recykrat med motsvarande egenskaper framställas. Men en kvalitetssäkring genom stabilisering och helst en "up-grading" av de mekaniska egenskaperna måste till för att nå en stabil marknad för ett recykrat. Marknaden utgörs av ersättning av styrenplast i existerande formsprutade och extruderade produkter i polystyren och i nya applikationer som innerskikt i flerskiktsextruderade plattor.

Våtsepareringsteknik är investeringstung och kräver volymer på flera tusen årston om separeringskostnaden skall bli rimlig ca 4,50 kr/kg. Det är därför osäkert om ett framtida marknadspris verkligen täcker framställningskostnaden för recykratet.

Innan säkra uppgifter finns om avsättning för recykratet och dess framställningskostnad kan inte beslut om investering i separerings-och reningsutrustning fattas av Stena Bilfragmentering.

Electrolux Research & Innovation AB redovisade 960520 sin studie kallad "Återvinning av plast från hushållsprodukter" (5), en teknisk/ekonomisk utvärdering. Electrolux har genomfört en liknande typ av våtseparering och konstaterar att det återvunna materialet brister i slagseghet men ändå bör kunna användas i tjockväggiga detaljer eller sandwichformspjutning eller co-extruderade skivor.

Separeringskostnad exkluderat tillsatser som stabilisatorer har uppskattats till samma nivå 4-5 kr/kg som Stena Bilfragmentering kommit fram till. Investeringskostnad uppskattas till 10-12 MKr för en anläggning med kapacitet 6.000 årston vilken storlek bedöms som lämplig.

Electrolux har i sin tekniska studie undersökt inverkan av två typer av kompatibilisatorer och funnit att effekten på slagseghet inte står i proportion till kostnaden.

1.2.4 Läget internationellt

En viktig skillnad mellan svenska och andra länders gamla kylmöbler är att de svenska består till mer än 50% av ABS beroende på att Electrolux ända till nyligen använt ABS i innerväggarna.

Övriga stora tillverkare av vitvaror har använt HIPS i många år. Därför består ett recyklat framställt från tyska kylmöbler till allra största delen av HIPS. Det underlättar återvinningen.

Utredningar och försök med återvinning har genomförts av TNO i Holland, Dow Chemical i Belgien och ett flertal återvinnare av kylmöbler på kontinenten. Dow konstaterade redan 1992 att föroreningar av polyuretankorn inte kunde elimineras helt i ett recyklat och dessa gav brottanvisningar när man sökte göra nya väggar i kylmöbler.

I Tyskland nära Frankfurt startades 95/96 en anläggning för rening av plastfraktion från kylmöbler med våtseparering som hade en kapacitet på ca 5000 årston i 3-skift.

Ett flödesschema finns i fig. 1.

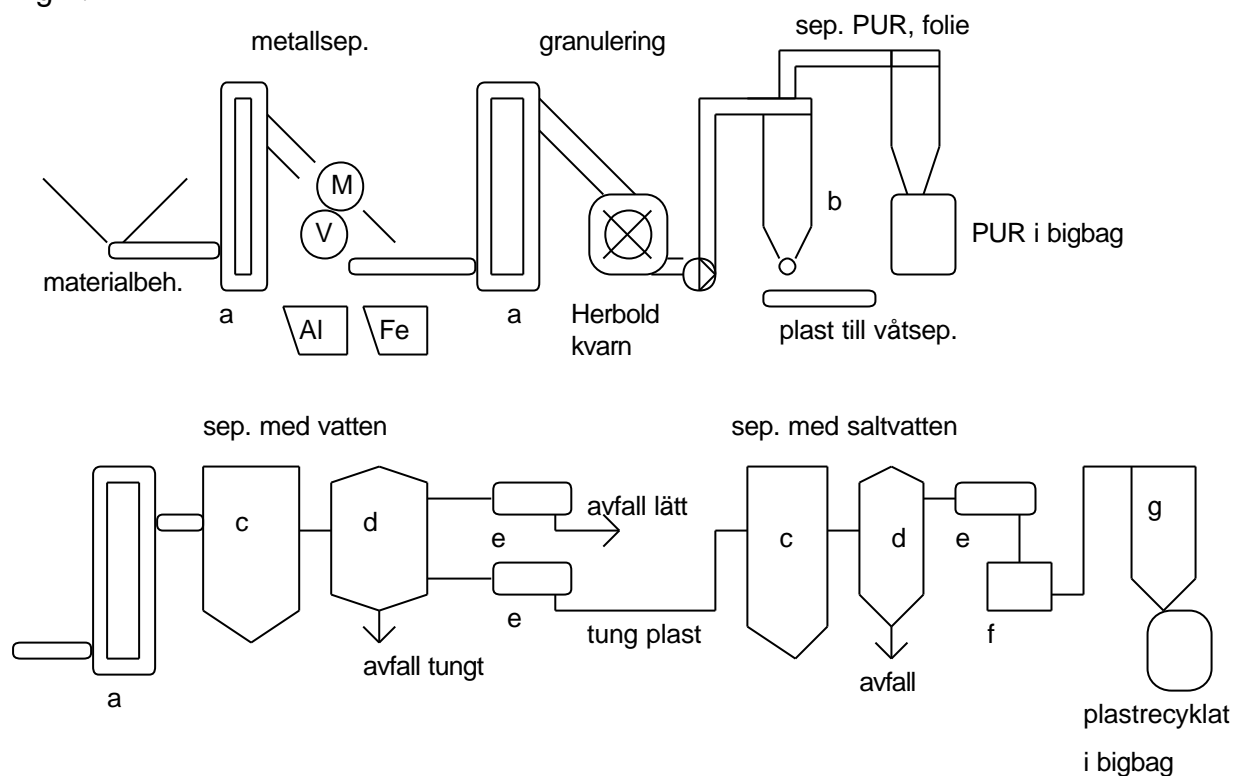
Stena Bilfragmentering har skickat plastfraktion dit för provkörning och besökt anläggningen. På grund av skillnad i sammansättning vill man inte blanda tyskt och holländskt material med svenskt.

Recyklat som framställs får innehålla max 2% ABS enl. leveransspecifikationen.

Transportkostnaden är betydande. Möjligheterna att från Sverige skicka material dit för upparbetning eller avsalu har därför visat sig vara små.

Den övervägande delen av recyklatet som framställs återanvänds inte i Tyskland utan exporteras till plastindustri i Fjärran Östern.

Fig 1.



- a = skopelevator
- b = vindsikt
- c = blandningstank
- d = separationstank
- e = våtsikt
- f = vattenseparator
- g = varmlufttork

Stena Bilfragmentering har efter erfarenheterna gjorda från provkörning och företagets arbetsmetoder kommit fram till att en permanent lösning på plaståtervinningsproblemet inte kan åstadkommas i samarbete med detta företag. Företaget har senare gått i konkurs och anläggningen är inte i drift.

1.3 Projektets uppläggning

1.3.1 Inriktning och arbetsuppgifter

Utredningarna som genomförts av Stena Bilfragmentering och Electrolux bekräftar att potential för återanvändning av ett recyklat finns.

Men de pekar också på stor osäkerhet i marknad och applikationer, utvisar relativt höga framställningskostnader och anger en investeringskostnad som är för hög för att motivera byggandet av en anläggning enbart för återvinning av kylskåpsplast i Sverige.

En garanterad avsättning för recyklatet till ett pris som ger lönsamhet för materialåtervinningen krävs av återvinnaren. Köparen av recyklatet vill å sin sida ha

garantier för en stabil tillgång på ett kvalitetssäkrat recyklat till rimligt pris.

För att klarlägga verkliga förutsättningar och få fram ett beslutsunderlag för investeringskalkyl i en lämplig typ av återvinningsanläggning för kylskåpsplast behöver i ett samarbetsprojekt återvinnare och användare av recyklatet vidareutveckla dessa områden:

- **applikationer**, så att en säker avsättning till ett visst pris kan avtalas
- **separeringsteknik**, så att om möjligt våtsepareringstekniken som är state- of-the-art och resulterar i en hög kostnad samt kräver stora anläggningar med hög investering kan ersättas med avsevärt billigare torrsepareringsteknik
- **kvalitetssäkring av recyklatet**, så att riktiga applikationer kan utvecklas och en stabil efterfrågan erhållas på svensk marknad

1.3.2 Mål, arbetsinnehåll och uppläggning

Huvudmål: Att fastställa klara förutsättningar för och ge förslag på lösning till återvinningsanläggning(ar) av kylskåpsplast i Sverige

Huvuduppgifterna i projektet har varit tre:

- att utveckla torrseparering för framställning av ett rårecyklat
- att utveckla metod och material för uppgradering och kvalitetsäkring av rårecyklatet
- att utveckla användningar för recyklatet i direkt samarbete med potentiella användare

Med avseende på riskerna för ett misslyckande har projektet lagts upp i två etapper. Den första etappen har varit en utvärdering som innehållit experimentellt arbete i kg-skala med syftet att bekräfta om projektkonceptet håller.

Den andra etappen bestod av pilotförsök i ton-skala och syftade till att verifiera att det experimentella resultatet bekräftas i produktionsskala samt till att utprova färdiga applikationer. Den skall också ge underlag för specificering av lämplig produktionsanläggning(ar).

Deltagare och huvudaktörer i projektet har varit:

- Stena Bilfragmentering AB som svarat för projektledning och framtagning av renat rårecyklat
- IFP (Institutet för Fiber-och Polymerteknologi) som svarat för karakterisering och kvalitetssäkring av recyklatet
- Electrolux Research & Innovation som arbetat med applikationer m m
- Meltic AB för som svarat för smältpiltrering och granulering
- AFN avfallsforskningsnämnden som medverkat i projektets styrning

Ursprunglig tidsplan var 2 år med beräknad start i mars 1997, avslutning av etapp 1 i december 97, start av etapp 2 i januari 98 och avslutning av etapp 2 i februari 99. Projektet har försenats med ca 1/2 år och avslutades i juni 97.

2. GENOMFÖRANDE

2.1 Separering

Uppgiften har varit att ur plastfraktionen som uppstår under malning av kylmöbler framställa ett rårecyklat.

Målet uppställdes att rårecyklat före smältfiltrering bör bestå av minst ca 95% ABS, HIPS och SAN och i övrigt andra lågtemperatursmältande termoplaster i huvudsak PS, PE och PP.

Kritiska föroreningar får uppgå till ca max 1% varav PVC bör begränsas till ca 0,5%.

Med separering avses processerna som använts för att sortera fram styrenplasterna ur plastfraktionen och separera föroreningarna.

Försöken med separering har utgått från plastfraktionen som erhålls i Stena Freonåtervinnings anläggning i Halmstad och genomförts både i anläggningar i Halmstad avsedda för återvinning av kabel och elektronik och på andra håll.

2.1.1 Plastfraktionens sammansättning

I Halmstad finns Stena Freonåtervinnings anläggning för återvinning av kylmöbler. Materialfraktionerna som framställs i den kontinuerliga processen är förutom freon CFC 11 och malet polyuretanpulver i briketerad form, järn, icke-magnetiska metaller samt en plastfraktion. Storleken på bitarna av metall eller plast är i snitt ca 15 mm och varierar från millimeterstora korn upp till 40 mm.

Plastfraktionen som erhålls ur anläggningen för återvinning av kylmöbler har ungefär sammansättningen (viktsprocent):

ABS (akrylnitril-butadien-styren)	20-50%	34
HIPS (High Impact poly-styren)	20-50%	34
SAN (styren-akryl-nitril)	2-4%	3
Övriga styrenplaster	1%	1
PE, PP (polyolefiner)	2-4%	3
PA (polyamid), PC (polykarbonat)	0,5%	0,5
hårdplast (fenol, karbamid)	1-3%	2
gummi	0,5%	0,5
PVC i list, slang och kabel	8-10%	9
rest av PUR-isolering, folie och fiber	1-3%	2
koppar som tråd	2-4%	3
aluminium	2-4%	3
järn	3-5%	4
övrigt		1
Summa		100%

Ett användbart recyklat skall utgöras av styrenplasterna ABS, HIPS och SAN. Uppgiften är alltså att separera ut dessa från övriga material som utgör ca 20% av plastfraktionen. Styrenplasterna har en densitet som ligger på ca 1,05 kg/l. De sjunker alltså i vatten.

Ingående övriga material /föroreningar har olika egenskaper och olika negativ påverkan på recyklatet.

Övriga styrenplaster

Homopolymer av styrenplast är ofta genomskinlig och kan användas i t ex lådor. Sådan vanlig polystyren har dåliga mekaniska egenskaper. Även om den normalt är blandbar med HIPS minskar den recyklatets slaghållfasthet.

Densiteten är lika med övriga styrenplasterna och den går inte lätt att skilja från dessa.

Polyolefiner

PE (polyeten) och PP (polypropen) förekommer i små inredningsdetaljer exv fästen. Dessa termoplaster har låg smältpunkt och blandas in i styrenplasterna under extrudering. De är inte kompatibla med styrenplasterna och försvagar de mekaniska egenskaperna på recyklatet.

Densiteten ligger under 1,0 kg/l och dessa plaster flyter alltså i vatten.

Polyamid, polykarbonat m fl

Konstruktionsplaster som nylon (polyamid) kan finnas i t ex elektriska detaljer.

De har högre smältpunkt än styrenplasterna och tenderar att under extrudering vid ca 220 grader C förbli i fast form och kan sålunda fångas i ett smältafilter.

Densiteten ligger som regel över 1,1 kg/l.

Härdplast

Härdplaster ingår i laminat som ibland utgör ovansida på ett bänkskåp. Det var vanligt förr. Laminatet är uppbyggt av trä/pappersfiber och fenol-eller karbamidharts.

Materialen är osmältbara och kan fångas i smältafiltrering. Men mängden av härdplast är ibland stor och volymen av fiber som lossnar under bearbetning betydande. Därför måste huvuddelen av laminatet bort från rårecyklatet.

Densiteten för fenol-och karbamidplast som lossnat från fibern är hög.

Gummi

Gummi kan förekomma både som slang i vulkaniserad form och som ett kitt för att tätas vid rörföring och är då ovulkaniserat.

Båda formerna är oönskade föroreningar och kittet kan vara svårt att filtrera bort.

Densiteten ligger över 1,20 kg/l.

PVC

Mjukgjord PVC förekommer nästan alltid i dörrtätningar och alltid i elektriska ledningar. Ibland finns också avfrostningsslang av PVC.

PVC är en termoplast och smälter ihop med styrenplasten, men är knappast kompatibel med recyklatet.

Densiteten ligger över 1,20 kg/l.

PVC anses vara den farligaste föroreningen p g a att PVC vid högre temperaturer över 200 grader C lätt sönderfaller och bildar klorväte.

Det finns en stor risk att under extrudering av ett styrenrecyklat ingående PVC sönderfaller och därvid bildad saltsyra kan skada både människa och utrustning.

Risken för sönderfall beror av processtemperatur och uppehållstid men också av mängd PVC.

Det är alltså mycket viktigt att mängden PVC som finns i recyklatet minimeras.

PUR-isolering, fiber och folie

I plastfraktionen medföljande fria partiklar av PUR-skum, cellulosa-fiber och bitar av plastfolie som ibland finns i kylmöbler kan ganska effektivt separeras bort med luftström. Den skummade isoleringen av polyuretan är som regel klistrad mot styrenplasten i skåpets innerväggar. Ett tunt skikt av polyuretan som vidhäftar styrenplasten är praktiskt taget omöjligt att avlägsna.

Koppar och aluminium

Metallpartiklar av koppar och aluminium har hög specifik vikt och kan som regel elimineras med gravimetriska metoder.

Formen på metallpartiklarna, t ex aluminium i tunna flagor och koppartrådar inuti en plastisolering kan emellertid avsevärt försvåra separering i luft eller vatten.

Metall ger inhomogenitet och brottanvisningar i plasten. Koppar kan möjligen också bidra till nedbrytning av plasten.

Större metallpartiklar som finns i rårecyklatet kan dock elimineras genom smältfiltrering.

Järn

Mindre bitar av järn kanske vidäftande ett stycke plast tas inte av magneten och kan komma med i plastfraktionen. Det avskiljes lätt med magnet efter förnyad malning.

Övrigt

Till övriga material hör t ex krossat glas som kan komma med, trä och en del av de magneter som används för dörrstägning och oftast sitter inuti PVC-listen.

2.1.2 Rening innan separering

För att möjliggöra en separering av styrenplasterna behöver plastfraktionen först renas på metaller, fiber och skumpartiklar.

I Halmstad finns också processer för återvinning av kabel respektive elektronik, som kunnat användas för rening av plastfraktionen.

Båda processerna var för sig och kombinerat har använts för reningen.

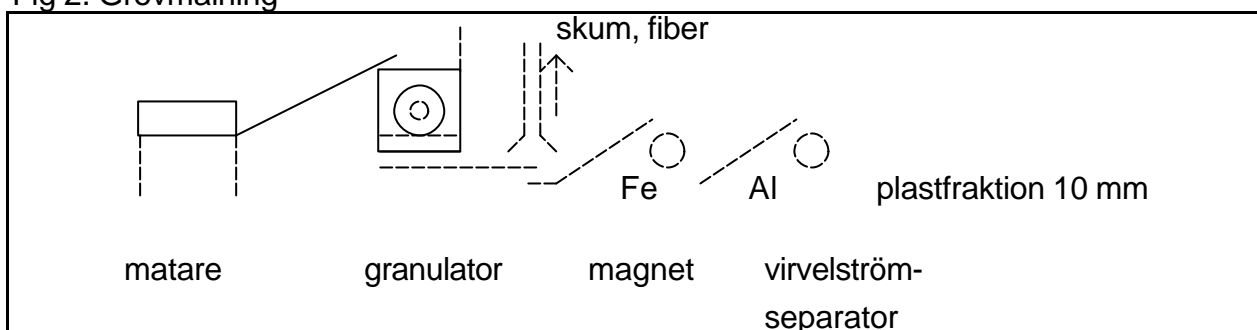
1. Grovmalning och rening

Återvinning av elektronikkomponenter omfattar en grovmalning i en särskild typ av granulator med efterföljande luftavskiljning av ett lätt avfall bestående av skum, fiber och folie. (Fig. 2)

I samma process ingår magnet som skiljer ut kvarvarande järn och en virvelströmseparator som ur flödet sorterar ut större bitar av aluminium, koppar och rostfritt stål.

Den så renade plastfraktionen har en bitstorlek på max ca 12 mm men innehåller fortfarande minst 5 procent metaller mest i form av koppartråd och små aluminiumbitar samt en del finfördelat skum och fiber.

Fig 2. Grovmalning



Resultat från en körning grovmalning redovisas i bilaga 3. Förlusterna noterades till ca 12% av skum och fiber men då medföljde också en hel del linerplast. Ca 4% järn togs ut.

Analys av plastfraktionen visar att den innehåller ca 20% föroreningar.

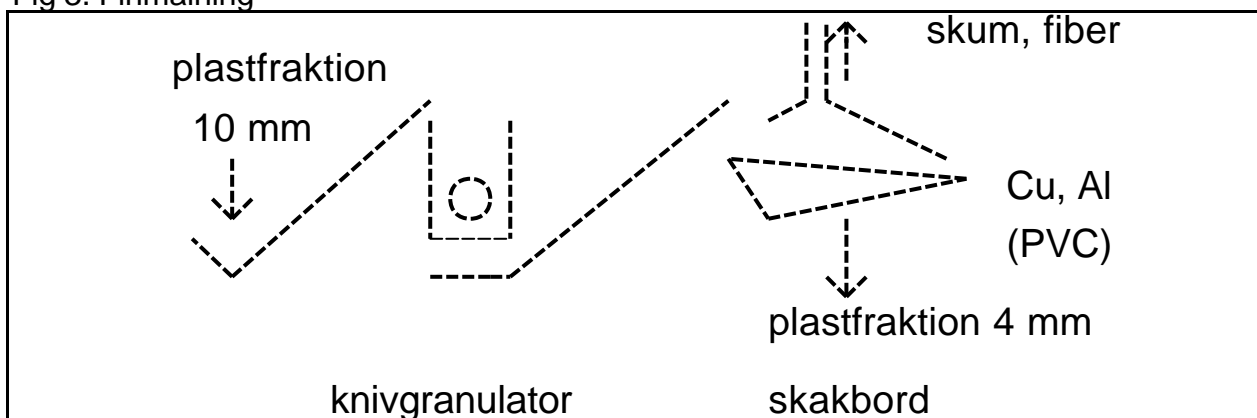
2. Finmalning och rening

I nästa steg har plastfraktionen från grovmalningen gått vidare till en kabelgranuleringsanläggning (fig.3).

Där mals plasten ned i ytterligare två steg med knivgranulatorer varefter den förs upp och vindsiktas över skakbord.

Skakbordet ger en gravimetrisk separering av de tunga metallerna från den lättare plasten. Det allra lättaste materialet, skum och fiber förs bort med luftströmmen som passerar genom bordet underifrån.

Fig 3. Finmalning



När den grovmalda plasten körs i kabelgranuleringen (bilaga 3,4) uttas ca 5% metaller och ytterligare förluster uppstår då en lätt fraktion med skum, fiber och plast avskiljs. Analys av det reade materialet visar att efter kabelgranulering finns i rårecyklatet en resthalt på ca 1% metaller och tillsammans ca 15% föroreningar varav PVC utgör en väsentlig del.

Försök har också gjorts att gå direkt med plastfraktionen från freonåtervinningen till kabelgranuleringen. Risken är att bitar av rostfritt stål från kylmöblerna kan skada

knivarna i kabelgranuleringen.

Reningen blir dock i stort sett lika bra om grovmalningssteget slopas och förlusterna minskar.

2.1.3 Försök med triboelektrisk separering

Projektet syftet i första hand till att utveckla en torrsepareringsprocess baserad på triboelektriska egenskaper hos de olika plasterna.

Separationen bygger på att plaster antar olika ytladdning genom tex friktion och kan sedan skiljas åt i ett elektriskt fält som attraherar respektive repellerar plastpartiklarna beroende på ytladdningen.

Principen och exempel på möjliga applikationer visas i bilaga 5.

Broschyren ifråga visar processen ESTA från Kali+Salz.

De första halvkommersiella tillämpningarna har gällt återvinning av PET-flaskor.

Uppgiften är att ta bort PVC från PET.

hamos

hamos recyclingteknik i Penzberg, Tyskland tillhör marknadsledarna på utrustning för elektrostatisk separering av metaller.

Företaget har under senare år utvecklat en liknande process för triboelektrisk separering av plaster.

Materialet som skall separeras trumlas först och släpps sedan ned på en spänningssatt vals där uppdelning av plasterna skall ske.

hamos har utfört separationen i tre steg. Först frånseparerades metaller i en vanlig elektrostatisk maskin (KWS2) och sedan frånskiljdes i två steg först gummi och sedan PVC från plastfraktionen.

Försöksrapport och kommentarer återfinns i bilagorna 6 och 7.

Försöket visade att finmalning till ca 6 m m och rening i kabelgranuleringen är nödvändig för att den triboelektriska separeringen skall nå ned till ca 5% föroreningsgrad i den utsorterade plasfraktionen.

Av resultatet framgick att inte bara PVC utan också gummi och hårdplaster m m kunde till del elimineras med den triboelektriska metoden.

Försöken med hamos recycling avbröts då man inte ansåg sig komma längre i separationsresultat med den befintliga processen. Hamos uppdrog åt universitetet i Muenchen att göra modellförsök för att förbättra processen.

Från hamos sida kom under projektiden ingen bekräftelse på att processen vidareutvecklats så att bättre reningdsgrad kund uppnås.

Kali + Salz Forschungsinstitut

Efter kontakt med bl a Kema, Holland och universitetet i Aachen, Tyskland som båda arbetar med utveckling av triboelektrisk separering samt Chilworth Technology , Southhampton UK, som varit inblandat i ett annat svenskt projekt, valdes att i första hand fortsätta försökskörningarna med företaget Kali +Salz och ESTA-processen.

Företaget, som är Europas största tillverkare av kalialter och har säte i Hehringen in närheten av Kassel, har sedan länge använt den triboelektriska metoden för separering av salt i produktionsskala.

Avsevärda forskningsresurser har lagts ned på att anpassa processen för separering av olika slags plaster.

ESTA-metoden från Kali + Salz börjar med en konditionering av materialet i vilken även kan ingå tillsats av vissa ytaktiva ämnen. Därefter får materialet falla fritt mellan spänningssatta plattor i ett skakt. Accept och reject tas ut medan den blandning som erhålls i mitten kan återföras till skaktet för en ny separering.

Från hösten 1997 och fram till början av 1999 framtogs i olika omgångar renade plastfraktioner i Halmstad och skickades till Kali + Salz för upparbetning. Först i labbskala med kg-kvantiteter och sedan i pilotskala med ton-kvantiteter.

Resultatet i form av prover som erhöles på accept och reject analyserades på innehåll av tunga material densitet $>1,09$ kg/l resp lätta plaster $< 1,0$ kg/l. Det gjordes genom sink-floatbestämning i glykol med densitet $1,09$ resp vatten. Därigenom kunde på ett relativt enkelt sätt kvarvarande föroreningar i accept respektive anrikning av PVC, gummi m m i rejektet fastställas.

Med plockanalys identifierades materialslagen som förekom i tungt material. Resultaten förmedlades till Kali + Salz som sedan sökte optimera process- förhållanden för separering av kylskåpsplasten i labbskalan.

Exempel på försöksrapport och utvärdering av resultat finns i bilaga 8.

I pilotskala kördes sedan den variant som gett bästa resultat.

Vi valde en processgång som favoriserade utsortering av de tunga materialen och framför allt PVC. Separeringen gjordes i två steg för att öka utbyte och reningsgrad.

Med ESTA-tekniken nåddes i pilotskala en kvarvarande mängd tungt material på ca 4% och lätt material på ca 2%. Kvarvarande föroreningar av tungt material utgörs av PVC framför allt i kabelisolering, laminatbitar, gummi och polyamid.

2.1.4 Försök med annan torr separeringsteknik

Metoder för separering av plaster som bygger på identifiering av en specifik egenskap utvecklas snabbt. Infarrödspektra i olika våglängdsområden är vanligast för identifiering. De flesta system har utvecklats för att sortera plastflaskor som har en stor kommersiell tillämpning. Oftast gäller det att skilja ut PET och PVC och olika PET-kvaliteter. Efter identifiering och registrering i dator så initieras en utsortering, vanligen på mekanisk eller pneumatisk väg av plastflaskorna eller plastbitarna.

Under projektiden har utvecklingen inom området följts upp och bl a konferenserna

Identiplast i Bryssel 1997 och 1999 besökts.

Ett generellt problem är att fortfarande klarar just inga system att identifiera och ett granulerat material. Antalet partiklar blir för stort! Gränsen går vid bitar på ca 10-20 mm.

Kylskåpsplast efter finmalning och rening finns det alltså ännu inga sorteringsystem för som klarar att identifiera enskilda partiklar.

Däremot skulle det i princip vara möjligt att sortera ett grovmalet material.

Microsort

Med en tysk teknik kallad Microsort som använder en optisk sensor som kan se färg och form och klarar 3000 mätningar per minut gjordes ett försök med grovmalen och renad kylskåpsplast.

Idén var att sortera ut de vanligtvis ljusa innerväggarna i kylskåpen från övrigt vanligen mörkare material.

En rapport finns i bilaga 9.

Resultatet visar att metoden i princip fungerar men utbytet är blott ca 50% och i accepten finns minst ca 5% av föroreningar kvar och en hel del PVC-tätning.

Titech Autosort

Ett norskt företag bygger en sorteringsmaskin som fått stor användning i Tyskland för utsortering av önskade plaster från en avfallström av både papper och plast.

Utrustningen identifierar med IR och har möjlighet att identifiera och utsortera med stor kapacitet PVC och sannolikt också gummi och hårdplast från styrenplasterna.

Ett enkelt prov har gjorts hos företaget i Oslo 1999 utgående från grovmalen och renad kylskåpsplast och resultatet var lovande.

Försök med turboseparator

Under 1998 gjorde Electrolux en utvärdering av möjligheterna att med befintlig turboseparator hos ABGN i Älmhult uppdelade plastfraktionen.

Undersökningen genomfördes av Nicolas Mouillé, Electrolux Research & Innovation i samverkan med Polymer Teknologi KTH, och Materialteknik på Luleå Universitet (X). Försökskörning gjordes i turboseparatorn på en blandad fraktion innehållande både metaller och plast då syftet egentligen är återvinning av metallerna.

Resultatet visar att de tunga plasterna inklusive PVC tenderar att sprida sig i alla fraktioner, men att halten blir lägre i de grova fraktionerna som kunde förtjäna att återvinnas. Men då rekommenderas en efterföljande våtseparering.

I undersökningen har metoder för mätning av halt ABS och HIPS utvecklats vilket också varit till hjälp i detta projekt.

Försök med stoner i Älmhult

I Älmhult finns en sk stoner som utgörs av ett skakbord som endast rör sig i en riktning och genomströmmas av luft.

Försök utfördes med renad kylskåpsplast respektive våtseparerat rårecyklat för att undersöka om tung plaster och speciellt PVC kunde separeras i dessa material.

Det visade sig att finmalt renat material var för komplext för att kunna separeras effektivt och att någon effekt på ett redan separerat rårecyklat innehållande enbart små mängder PVC inte kunde noteras.

2.1.5 Försök med våtseparering på bord

Separering med vätska vanligen vatten som medium kan utföras på många sätt. Skillnad i densitet mellan de ingående materialen utnyttjas.

I de undersökningar som föregått detta projekt gjorde TNO i Holland för Stena Bilfragmenterings räkning en våtseparation i tank. Den gjordes med hjälp av salt i vatten som inställdes på densitet 1,10 kg/l, respektive vanligt vatten.

I den undersökning som Electrolux gjorde tidigare så provades i Tyskland en avancerad centrifugeringsmetod, KHD Humboldt s k Censor.

Våtseparering enligt dessa tekniker ger ett bra resultat med föroreningsnivåer ned mot 1%.

Men metoderna blir omständliga i produktionskala och kräver stora investeringar.

En annan metod är ett våtseparering på ett skakbord.

Principen är densamma som för skabordet som används för separering av metaller i luft i en kabelgranuleringsanläggning. Men i stället för luft används vatten som medium. Precisionen i separeringen kan ökas och lägre densitetsskillnader mellan material kan utnyttjas.

Ett våtsepareringsbord installerades på Stena Bilfragmentering i Halmstad sommaren 1998.

Syftet var att kunna använda bordet för separering av ädelmetaller och koppar från elektronikfraktioner och eventuellt separering av styrenplasterna från kylskåpsplasten.

Försök inleddes hösten 1998 med lovande resultat.

För att möjliggöra torkning av plastfraktionen efter våtbordet har en enkel torkutrustning tillverkats och placerats i serie med bordet. Den klarar enbart yttorkning av plasten och måste vid eventuell framtida produktion kompletteras med en effektivare lufttork.

Flera försökskörningar med framtagning av ett antal ton rårecyklat har gjorts under 1999.

2.1.6 Sammanställning av resultat

Materialbalans

I fig.5 har resultatet sammanfattats i en materialbalans för framställning av recyklatet.

Försöken visar att finmalning i kabelgranulering följt av triboelektrisk torrseparering eller våtseparering på skakbord är möjliga metoder, som ger en slutlig reningsgrad på ca 95%.

I det första reningssteget, kabelgranuleringen, reduceras föroreningarna från ca 28% till ca 15%. Huvuddelen eller 10% är återvunnet järn och metaller.

Förlusten av användbar ABS och HIPS är ganska hög och beräknad till ca 12% på basis av försöken.

Sannolikt kan utbytet förbättras vid betydligt längre körningar som en vecka med samma material.

I det andra reningssteget som utgörs av antingen triboelektrisk torrseparering eller våtseparering på skakbord reduceras föroreningshalten med ytterligare ca 10% från 15 till 5%.

Förlusterna i elektrostatisk torrseparering synes vara högre än i våtsepareringen.

Utbytet i torrsepareringen kan ökas genom omkörning av rejektet. Men det finns en gräns för antal omkörningar. Separationseffektiviteten minskar då rejektet innehåller mer föroreningar och varje omkörning ger en dyrare process. Därför har ett utbyte på 75% antagits vara ett balanserat värde.

Bra mätningar av utbyte från våtseparatorn har vi inte kunnat göra på grund av fuktproblem. Men en god uppskattning är att ett utbyte på 80% troligen är lättare att nå genom separering på våtbord än det är att nå ett utbyte på 75% för triboelektrisk teknik.

En fördel för våtseparatorn är att flera olika fraktioner kan anrikas på bordet. Sålunda kommer i bordets topp de tyngsta partiklarna och här erhålls ett metallkoncentrat. Detta material finns i rejektet från triboelektrisk separering och måste tas ut t ex elektrostatiskt i en särskild process.

Ur 1000 kg plastfraktion från freonåtervinningen kunde ca 600 kg recykrat framställas. Under upparbetningen till recykrat förloras ca 130 kg och det mesta i steg 1. Troligen kan utbytet ökas i produktionsskala.

Föroreningsgrad och sammansättning

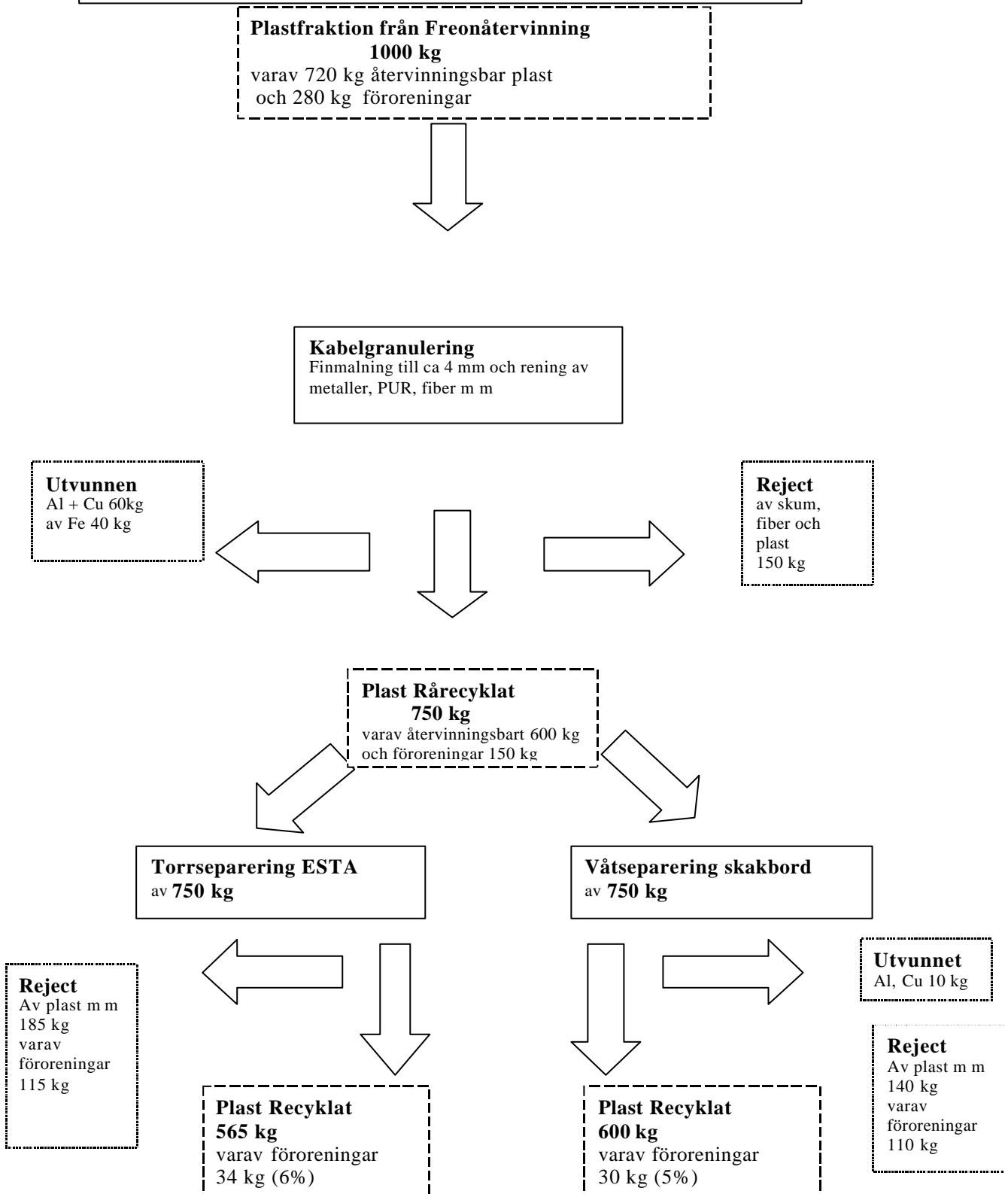
Föroreningarna som finns kvar i recykratet består av såväl tunga som lätta plaster. I våtseparerat material är andelen lätta plaster högre.

Inget försök har hittills kunnat göras för att separera på ytan flytande polyolefiner. Det har inte heller prioriterats då det är viktigast att få bort de tunga plasterna och speciellt PVC.

Men det borde vara fullt möjligt att anpassa bordet så lätta plaster fångas in för sig. Möjligen kan på detta sätt också en del kabelisolering av PVC komma med. Klippt isolering bildar små tuber som kan innehålla en luftbubbla och därför gärna hänger på vattenytan.

Analys av rejectet från våtbordets ände visar en mycket hög andel tunga material.

Fig. 5 Materialbalans för framställning av recyklat av kylskåpsplast



Analys av acceptet visar att tunga föroreningar begränsas till ca 2%. Recyklat som framställts av våtseparerat material har även analyserats på klor vid två tillfällen varvid erhöles 0,45% respektive 0,56%. Det motsvarar ett PVC-innehåll på 0,8 respektive 1,0%.

Samma analyser på torrseparerat material med ESTA-metoden gav 1,15% respektive 1,6% klor som motsvarar 2,0 respektive 2,8% PVC.

2.1.7 Sammanfattning

Målet i projektet att klara en föroreningssgrad på max 5%, varav kritiska föroreningar fick uppgå till max 1% och PVC till max 0,5% torde kunna uppnås med kombinationen kabelgranuleringsprocess och våtbord.

PVC-halten i försöken är visserligen något högre ca 1% men å andra sidan har inga andra kritiska föroreningar hittas. En PVC-halt på 1% förefaller kunna accepteras ur egenskapssynpunkt.

2.2 Homogenisering och filtrering

2.2.1 Behovet av filtrering

Projektets målsättning för separering max 5% föroreningar förutsätter att recyklatet renas genom smältfiltrering innan det används för tillverkning i en plastprodukt. Mängden kvarvarande föroreningar i osmältbar form måste reduceras om recyklatet skall kunna kvalitetssäkras även för användningar med relativt låga kvalitetskrav.

Kylskåpsrecyklatet torde innehålla ca 1% icke smältbara föroreningar. Det innebär att en extruder som producerar 200 kg plast per timme samlar upp till ca 2 kg osmält material i filtret. Redan ca 0,1% föroreningar är onormalt stor mängd för en extruder.

Jungfruliga plaster som används för extrudering har mycket litet föroreningar. Trots detta används i många tillverkningsfall t ex kabel, rör, folie silar i plasticsprutan för att stoppa större partiklar att komma ut i extrudatet och kanske förstöra produktens yta. Definitionen på stora partiklar varierar med applikationen och kan t o m betyda någon 100-dels m m.

De smältafilter som används i plastindustrin är nästan alltid fasta silar som inte kan bytas under drift. Med litet föroreningar i plastmaterialet behövs sällan ett byte.

Under omsmältningen i en extruder sker samtidigt en homogenisering av materialet med en fördelning av smältbara föroreningar. Detta bidrar också till att egenskaperna från kg till kg av recyklatet blir mera lika.

För användning i formsprutar är trånga inloppskanaler till verktyget en begränsning för föroreningar. Millimeterstora partiklar stoppar materialflödet.

2.2.2 Filtrering hos Meltic

Meltic AB i Lanna som deltagit i projektet har tidigare utfört en del prov med smältfiltrering av kylskåpsrecyklat i en äldre plasticspruta med dubbelskruv. Företaget installerade hösten 1998 en enkelskruvextruder med bättre kapacitet och

styrka. Maskinen är en 120 mm Reifenhäuser och är försedd med ett smältafilter som har två lägen och kan skiftas med hjälp av hydraulik. Sprutan måste stoppas vid filterbyte. Granuleringshuvud och kylare är anslutet till maskinen som alltså gör ett granulat.

Provkörning på Meltic har utförts vid två tillfällen. I slutet av 1998 filtrerades och granulerades ett rårecyklat framställt med våtbordet i Halmstad.

Körningen förlöpte utan problem. Produktionen var ca 200 kg/timme.

Filtrering gjordes med maska på 0,20 m m.

Filtret satte igen sig inom loppet av ca 20 minuter. Då fanns det ca 250 gram ansamlad i filtret av olika fasta partiklar inkluderat en del aluminiumflagor.

Ett par hundra kg granulat tillverkades. Materialet har testats av IFP.

2.2.3 Filtrering hos Orbit i Tyskland

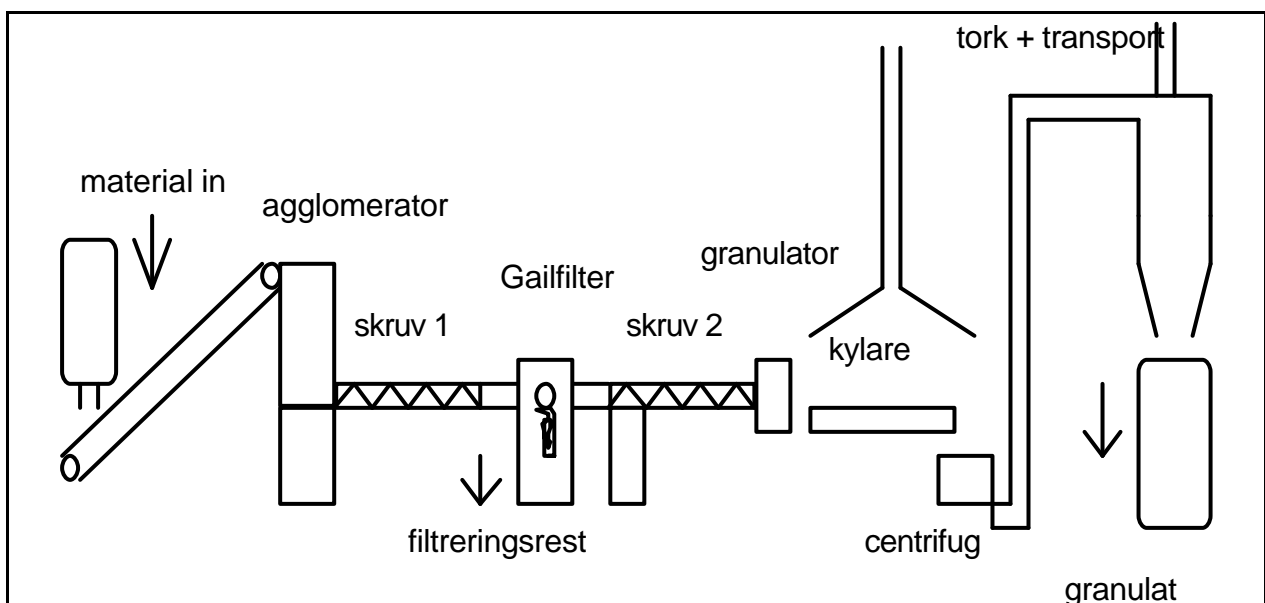
En utvärdering av för ändamålet tänkbara kontinuerligt arbetande smältafilter gjordes. På marknaden i Europa finns tre fabrikat av kontinuerliga som anses kunna klara betydande mängd föroreningar, Gneuss, Erema och Gail. Samtliga är tyska.

Smältafiltret från Gail används av tyska återvinnare av DSD-material innehållande mycket smuts. Principen framgår av bilaga 10.

Vårt material skickades till Gail som körde ett mindre försök och förklarade att det inte skulle bereda något problem.

Ett plaståtervinningsföretag i Sydtykland, Orbit, som kunde åta sig smältfiltrering av vårt rårecyklat kontaktades och kontrakterades för två stycken körningar.

En reserapport som beskriver den första körningen då vi närvarade finns i bilaga 11. Utrustningen är schematisk beskriven i figur 4.



Den första körningen utfördes på ett par ton torrseparerat rårecyklat. I den andra körningen som omfattade ca 8 ton kördes dels torrseparerat och dels våtseparerat material.

Båda körningarna gick utan problem. Orbit hade tidigare kört kylskåpsplast som kom från en tysk återvinnare men fått problem med saltsyrautgasning.

2.2.4 Sammanfattning

Smältfiltrering med ett filter av typ Gail går utmärkt med såväl torrseparerat som våtseparerat rårecyklat.

2.3 Kvalitetssäkring

Kvalitetssäkring av recyklatet omfattar

- karakterisering, som kan leda till en specifikation av recyklatet
- utprovning av stabilisering mot process och åldring
- utprovning av lämplig kompatibilisator
- förslag på kvalitetskontroll av recyklatet

Arbetet har utförts etappvis av Institutet för Fiber- och Polymerteknik (IFP) i Mölndal.

2.3.1 Karakterisering

I rapport från IFP bilaga 12 görs en karakterisering v recyklatet.

Karakteriseringen baserades på tidigare framställt recyklat med våt separationsmetod.

Recyklatet har egenskaper som ligger mellan HIPS och en ren PS (polystyren). Slagsegheten är den svagaste egenskapen med värden som närmar sig ren PS.

Det beror uppenbarligen i första hand på att ABS och HIPS inte är kompatibla, i andra hand på förekommande föroreningar.

En väsentlig faktor är förhållandet mellan mängd ABS och mängd HIPS i recyklatet. Electrolux har i sin tidigare studie (4) visat att det finns ett egenskapsminimum vid förhållandet 70% ABS och 30% HIPS. Detta råkar återspegla Electrolux marknadsandel, som var 70%. Electrolux har i många år använt ABS.

Electrolux har även undersökt PUR-partiklars inverkan i halter på 0,5% och uppåt. Det visade sig att brottöjning och slagseghet sjunker för de rena polymererna men mindre för blandningar av ABS/HIPS. Vid egenskapsminimum 70% ABS har PUR-partiklar ingen inverkan.

2.3.2 Slagseghetsförbättring

Provblandningar av recyklat och mest sannolika kompatibilisatorer har visat att få har någon effekt. Electrolux har tidigare undersökt en rad kommersiella kompatibilisatorer.

IFP har kompletterat undersökningen och även testat med att addera termoplaster.

Bäst fungerar en tillsats av ca 10% PPO/SB (Noryl) , en termoplast som används bla i elektronik. Slagsegheten ökar med 50%. (Bilaga 12).

Mjukgjord PVC fungerar också som kompatibilisator men effekten går över under åldring av materialet.

Slutsats är att användning av Noryl är mest intressant.

2.3.3 Stabilisering

I samma rapport bilaga 12 konstateras på grundval av utförda prov att ett stabilisatorpaket från Ciba Geigy bestående av 0,25% Irganox och 0,5% DLTDP ger god effekt.

Tillsatsen kostar ca 0,50 kr/kg recyklat.

2.3.4 Kontrollmetoder

- För kontroll av rårecyklat innan smältfiltrering görs sink-float test i två mätglas. Ett innehåller etylenglykol med densitet 1,09 kg/l det andra vatten med densitet 1,0 kg/l. Metoden ger snabbt ett svar på mängd "tungt material" och mängd "lätt material". Testen är lätt att göra och lätt att avläsa. Den har utprovats i Halmstad och använts under provkörningar.
- För kontroll av recyklatets renhet efter smältfiltrering kan granulatet i en liten press värmas och pressas till en tunn folie ca 1 dm². Folien skall vara genomskinlig så att mängd föroreningar syns och kan räknas.
- En säkrare metod till att börja med är att ta ut prov ca 2 kg per batch, formspruta provstavar och göra mekanisk provning. Metoden kräver utrustning och är inte billig.
- För kontroll av klorhalt och hur stabiliserad ingående PVC är, kan en ganska enkel stabilitetstest utföras. Ett granulatprov värms i provrör vid 200 grad C i ett värme skåp. Tiden till sönderfall av PVC mätt med lackmuspapper på HCl är stabilitetstalet.

2.3.5 Sammanfattning

Recyklatet kan karakteriseras som en MIPS (Medium Impact Poly Styren) med benägenhet till sprödhet.

Genom tillsats av Noryl eller genom förskjutning av förhållandet ABS/HIPS till t ex 50/50 förbättras slagseghet och brottöjning.

Grundläggande för kvalitetssäkring är att rårecyklatet filtreras.

Recyklatet kan när så behövs beroende på applikationen stabiliseras.

Relativt enkla kontroller på kvalitet kan införas som ger god kvalitetssövervakning.

2.4 Applikationer allmänt

Användningar för recyklatet har undersökts redan i tidigare projekt.

I såväl svenska som internationella projekt har påvisats att ett renat recyklat från kylmöbler kan användas i t ex enkla formsprutade plastdetaljer. (4).

ABS och HIPS är vanligt förekommande plaster. De har en mycket bred användning, men tillhör inte volymplasterna p g a priset som historiskt legat på minst 15 kr/kg för ABS och ca 10 kr/kg för HIPS.

De är främst konstruktionsplaster som används för olika detaljer i produkter som bilar, elektronik, vitvaror m m.

2.4.1 Åtgärder för att finna användare

Utskick

I ett tidigt skede av projektet gjordes ett utskick till ett 40-tal plastfabrikanter i Sverige. De hade valts utifrån Plastforums databas över svenska plastbearbetare.

Urvalskriterier var företag som arbetade med ABS, HIPS och PS och som föreföll ha lämpliga produkter.

En specifikation på recykratet (bilaga 14) medskickades och små provkvantiteter erbjöds till intresserade.

Endast fem svar erhöles. Av dessa var två från företag som handlar och exporterar återvunnen plast, nästan uteslutande produktionsspill.

Av de övriga hade två företag färdiga produkter

Ett företag gjorde stängselstolpar i plast. Recykratets grå färg satte stopp för vidare samarbete.

Det andra företaget var Euroform i Tranås vid den tidpunkten ägt av IKEA.

Euroform formsprutar och lackerar stora plastprodukter t ex plaststolen Kringlan som säljs av IKEA tillhör en av de mer kända produkterna.

Recykratet var tänkt att användas till ett jalusi för badrumsskåp. Ett samarbete hade inletts med Euroform men avslutades då IKEA bestämda sig för att produkten skulle göras i trä i stället för plast.

Löpande kontakter

Under projektets gång har kontakt tagits med några företag som borde kunna vara intresserade, bl a tre tillverkare av klädgalgar. Dessa plastbearbetare är vana att formspruta polystyren och att använda regranulat och köper på marknaden styrenrecykrat.

Trots utskick av prov och personliga besök på två av dessa företag, varunder man bekräftat ett intresse för saken, har vi inte fått någon respons.

Seminarium

I november 1998 ordnades ett seminarium i Gnosjö, plastbearbetarnas Mekka i samarbete med den lokala föreningen för plastfabrikanterna. Programmet (i bilaga 15) behandlade möjliga användningar av recykrat. Syftet var att söka finna fler användningar och applikationer. Till seminariet kom ett 25-tal personer, deltagarlista i bilaga 16. Men det slutliga resultatet blev klen, endast ett företag deklarerade tillräckligt mycket intresse för att inleda ett samarbete, som fortfarande pågår.

2.4.2 Resultat

I dagsläget upprätthålls kontakter med två företag som är intresserade. Värmlands Industriplast och Västboplast.

Recykrat har skickats till både Värmlands Industriplast samt Västboplast för utvärdering. Såväl extruderade som formsprutade produkter kommer att testas med recykrat blandat med 10-50% malet produktionsspill av HIPS.

Homogena produkter avses provas men Värmlands Industriplast har möjlighet att tillverka detaljer i två skikt bl a borstskåft.

De påtagliga svårigheterna att intressera plastberbetare för recyklatet är en orsak till att applikationerna för Electrolux prioriterades i projektet.

2.5 Applikationer för Electrolux

Ur praktiskt taget alla synpunkter är en materialåtervinning i originalanvändningen bäst. Originalanvändning återigen uppfattas som och är förmodligen det perfekta kretsloppet.

Electrolux har haft siktet inställt på att kunna återanvända recyklatet i samma applikation, alltså i innerväggar i kylmöbler. Innerliner i kylmöblerna vaccumformas av extruderade plattor utgående från ABS eller HIPS.

2.5.1 Sandwichkonstruktion och VAMP 14-projektet

I projektet (4) har prov med sandwichkonstruktion utförts, som visade att det ger en betydande förbättring av plastdetaljens styrka. Idén har funnits att söka göra en sandwichplatta med användning av recyklat i mitten.

Våren 1998 startade initierat av IFP och delvis finansierat av NUTEK projektet VAMP 14 "Konstruktion och process för återanvändning av plast".

VAMP står för Verkstadindustrins Användning av Material i sina Produkter och gäller samverkanprojektet inom industriell användning av konstruktionsmaterial.

VAMP 14 är ett 2-årigt projekt och studerar återvinningsplast i sandwich-konstruktioner för olika tillämpningsfall.

Electrolux och Stena Bilfragmentering gick med i projektet och från Electrolux sida med tillämpningsfallen användning av recyklat från kylmöbler i formsprutad respektive extruderad applikation.

Bland övriga deltagare märks Volvo PV, IKEA of Sweden, Hydro Raufoss Automotive, Thorsmans, Uponor och Battenfeld.

Framställt recyklatet från kylmöbler användes i första hand för tillämpningsfallen hos Electrolux.

För applikationsprov hade framställts ca 6 ton filtrerat recyklat i granulatform fördelat på torrseparerat respektive våtseparerat råcyklat.

Innan tester kördes i produktionsskala utfördes förprovning av recyklaten på IFP.

2.5.2 Förprovning av recyklat på IFP

En rapport från IFP daterad 990702 som omfattar kontroll av fukthalt, inverkan av PVC och mekaniska prov inkluderat sandwich-konstruktion finns i bilaga 17.

Fukthalt

I ett tidigt skede formsprutade Thulinplast ett torrseparerat recyklat. Ett problem som konstaterades var porositet i produkten.

För att utröna detta gjordes prov på IFP och det konstaterades en fukthalt på 1,6% i

granulatet, vilket är mycket högt. Efter torkning försvinner fuktränder efter formsprutning.

Om materialet får ligga länge i formsprutan vid 230 grad C bildas gas, sannolikt klorväte.

Recyklatet som användes var det första torrseparerade och det innehöll både mycket PVC och mycket fukt som kommit in vid kylning av granulatet.

Med ordentlig torkning före sprutning minst 4 h vid 80 grad C så skall fukthalt inte vara ett problem.

PVC

Förekomst av PVC kan bli ödesdiger då materialet processas om PVC sönderfaller och bildar saltsyra.

I formsprutning kan högglanspolerade formverktyg angripas och i extrudering av plattor kan dyrbara kalandervalsar förstöras på ytan.

I plastindustrin är man medveten om och oftast mycket uppmärksam på eventuell förekomst av PVC.

Därför har en del prov på IFP utförts för att uppskatta risken för sönderfall av PVC och korrosion av stål om recyklatet utsätts för vanlig processtemperatur ca 215 grad C.

En *analys av klorinnehåll* visade att våtseparerat granulat innehöll ca 0,5% klor = ca 1% PVC medan torrseparerat innehöll ca 1% klor motsvarande ca 2% PVC.

En test på *termostabilitet* som utfördes av ABB Kabel i Nässjö gav vid 200 grad C en destabiliseringstid på 77 minuter för torrseparerat och 167 minuter för våtseparerat recyklat.

Ett *korrosionstest* utformades av IFP för att se recyklatets inverkan på stål. I samtliga fall konstaterades korrosionsangrepp dock något mindre för våtseparerat recyklat.

Försök att minska korrosionen genom inblandning av krita hade ingen effekt. Endast en inblandning av PVC-stabilisatorer kan förväntas ge god effekt.

Formsprutning av provstavar på olika recyklat som sker vid 220 till 230 grad C har förlöpt utan problem under processen. Rostangrepp på verktyg som inte rengjorts konstaterades efter en körning av torrseparerat recyklat.

Smältfiltrering vid ca 210-220 grad C har fungerat utan problem med PVC-sönderfall.

Mekaniska prov

En sammanställning av resultat från torrseparerat samt våtseparerat recyklat och blandningar av recyklat våtseparerat med jungfrulig HIPS och i sandwichform har gjorts i tabell 1.

Använd jungfrulig HIPS kom från Electrolux i Motala och används för extrudering av plattor för liner i kyskåp.

Tabell 1. Mekaniska mätningar på olika recyklat, blandningar med jungfrulig HIPS och i sandwich med jungfrulig HIPS.

Material	Slagseghet (oskårad) (kJ/m ²)	Flytspänning (MPA)	Brottöjning (%)
Våtseparerat recyklat	8,5	31	2,7
Torrseparerat recyklat	7,5	31	2,6
Sandwich skinn HIPS kärna våtsep. recyklat	23,4	24	5,8
Sandwich skinn HIPS kärna torrsep. recyklat	25	24	5,8
Blandning 50% HIPS + 50% våtsep. recyklat	23,2	23	25
Sandwich skinn 50/50 kärna våtsep. recyklat	no break	20	30
HIPS kylskåp	no break	19	84

Vid provning på IFP konstaterades att de mekaniska egenskaperna var ganska lika för torrseparerat och våtseparerat och att båda recyklaten var spröda. Brottöjningen var låg ca 3% och slagsegheten likaså.

Orsaken till att dessa recyklat blivit ännu sprödare än tidigare framställda (töjning 8-10%) trots att renheten inte var sämre kan troligen förklaras av en ogynnsammare blandning av ABS/HIPS med mer HIPS än i tidigare prov. Sannolikt är tyvärr sammansättningen i dessa recyklat de mest representativa för svenska kylmöbler.

Mekaniska egenskaper för de rena recyklaten samt blandningar av våtseparerat recyklat resp sandwich med jungfrulig HIPS visas i tabell 1.

Det framgår att både en blandning med 50% jungfrulig HIPS och en sandwich med HIPS ger en avsevärd ökning av segheten och gör recyklatet mer användbart.

En blandning av recyklatet med produktionspill eller ren HIPS från andra kasserade produkter kan vara en bra lösning för att avsevärt förbättra slagsegheten.

Electrolux i Motala har några 100 ton malet produktionspill som skulle passa bra för ändamålet.

Det gäller då sådant produktionspill som är något nedsmutsat och inte kan återanvändas direkt i extruderingen.

Slutsatser

Resultaten visade att våtseparerat recyklat var bättre än torrseparerat vad gäller PVC-innehåll och tendens till nedbrytning av PVC.

Både torrseparerat och våtseparerat var sprödare än förväntat.

Genom inblandning av nytt HIPS kunde recyklatets slagseghet höjas avsevärt.

Ett skinn av jungfruligt HIPS ger i sandwichkonstruktion med invändigt recyklat en väsentlig ökning i slagseghet.

På basis av förprovningen beslöts att provkörningarna hos Electrolux skulle utföras med våtseparerat material och att en ordentlig torkning av recyklatet måste föregå sprutningen.

Vid extrusion av plattor så borde för säkerhets skull provkörningen inledas med en blandning av recyklat med produktionspill i proportion 50/50 med tanke på eventuella problem med avgasning.

2.5.3 Extruderade plattor för innervägg i kylmöbler

Electrolux i Motala

I februari kördes i en extruderlinje hos Electrolux i Motala plattor med tjocklek 4 mm bestående av kylskåpsrecyklat med olika inblandning av malet HIPS produktionspill 50 till 0%. Körningen gick problemfritt.

Recyklatet var väl torkat och blandades med produktionspill innan inmatningen.

Processtemperatur i sprutan som gav ca 400 kg per timme låg på ca 210 grad C.

Extrudern har en avgasningszon med vaccumavsug och kondensering av gas.

Inga tendenser fanns till gasbildning och PVC-nedbrytning.

I recyklatet syntes en mängd föroreningar men ingen tendens till sprickbildning på kalander eller senare under avkylningen.

Plattorna varmformades på lab hos Electrolux i Stockholm och det visade sig att även recyklat 100% höll att varmforma trots att det innehåller så pass mycket föroreningar och i kallt tillstånd är sprött. Om det sedan håller för hanteringen i produktion innan skummet stabiliserar behållaren måste testas.

I Motalafabrikens plastavdelning finns två extrusionslinjer för plattor. De kan köra ett tunt glansskikt med en tillsatsspruta men inte en sandwichplatta med flera skikt.

Electrolux har dock planer på att eventuellt skaffa en flerskiktsanläggning som kan använda ett billigare material i kärnan.

Därför diskuterades med ledningen i Motala möjligheten att köra ett ytterligare prov på Arlaplast som har utrustning för flerskiktsproduktion.

Arlaplast

I maj genomfördes en körning på Arlaplast i Borensberg med en 3-skiktsskonstruktion bestående av recyklat, i mitten 2-3 mm och jungfrulig HIPS 0,5-1 mm på varje sida.

Körningen genomfördes och ett mindre antal plattor med ca 1 resp 0,5 mm ytskikt framställdes.

Recyklatet hade innan körningen kontrollerats på fukthalt med positivt resultat men tydligen var inte provet representativt för hela partiet ty fuktproblem uppstod under körningen.

Utrustningen med en huvudspruta och två tillsatssprutor har hög kapacitet.

En rapport från provkörning och provning av plattorna finns i bilaga 19.

Plattorna kunde utan problem varmformas på Electrolux. Ett problem är dock att det grå recyklatet lyser igenom det vita ytskiktet där detta är som tunnast.

Det kan möjligen lösas genom att göra recyklatet ljusare med pigment. Försök med detta är planerade på IFP.

På Electroluxfabriken i Mariestad där behållarna formas har ett produktionsförsök genomförts i juni med ett antal av de plattor som framställdes av Arlaplast.

Det gick ganska bra. Materialet håller, skikten sitter ihop och behållarna kan hanteras utan att de går sönder.

Men det grå recyklatet lyser igenom på sina håll och fuktkratrar bildades under uppvärmningen.

Behållare testas f n av Electrolux Core Technology i Stockholm.

2.5.4 Formsprutning av frontpanel på tvättmaskin

Inom Electroluxkoncernen utvaldes en detalj i ABS-plast som tillverkas av en fabrik i Italien.

Detaljen är en frontpanel till en tvättmaskin.

Provkörning med recyklat som kärna och ABS i skinet utfördes hos Battenfeld i maj med det italienska verktyget i en sandwichformspruta.

Formsprutningen gick bra. Ca 40% kärnmaterial kunde användas.

Men vidhäftningen mellan kärna och skinn är dålig. Panelen har tunna partier för snäppning som fylls med sprött recyklat och går sönder.

Konstaterades att produkten ifråga som är ganska tunnväggig inte är så lämplig för sandwichutförande och speciellt inte med ett sprött recyklat och att verktyget inte heller var anpassat för sandwichsprutning.

Det är viktigt med utformning och placering av ingöt.

Rapport från provkörningen och mätningar är under utarbetande.

2.5.5 Efterprovning hos IFP

Slagseghetsprov

Mekaniska prov utfördes på plattor tillverkade hos Electrolux i Motala och på sandwichutförandet tillverkade hos Arlaplast.

Resultatet framgår av rapport i bilaga 18.

Inblandning av hälften nyråvara i recyklatet ger en förbättring av slagsegheten med blott ca 50% vilket verkar lågt och har troligen att göra med plattans tjocklek som ger ett ganska högt värde på slagsegheten även för rent recyklat. Sandwichkonstruktionen går inte sönder i slagprovet.

Studie av blandningar recyklat/produktionsspill av HIPS

På Electrolux framställdes ett antal blandningar av recyklat med varierande tillsats av malet produktionsspill från Electrolux i Motala av samma HIPS-kvalitet för extrusion som används i farbriken.

Syftet var att konstatera vilken tillsats som behövs för att påverka de mekaniska egenskaperna.

I rapporten bilaga 18 kan man se att redan en tillsats av 10% nytt HIPS ungefärligen fördubblar slagseghet och brottöjning. Ytterligare tillsats synes inte ha motsvarande effekt.

Färgproblemet

Den grå färgen slår igenom i sandwichutförandet.

Försök med inblandning av vitt pigment, titantioxid 1,5%, gav inte mycket effekt i prov utförda av IFP.

Det påpekas att förekomsten av svarta prickar är ytterligare ett problem, dessa är svåra att maskera.

2.5.6 Sammanfattning

Produktionsprov har genomförts utan problem med PVC-nedbrytning eller andra komplikationer.

Med tanke på recyklatets sprödhet så är resultatet av testerna på plattor i sandwichutförande och produktionsförsök med vaccumformning av plattor till behållare mycket uppmuntrande.

För användningen i formsprutade produkter i sandwichutförande är valet av produkt uppenbarligen avgörande för resultatet.

För att förbättra recyklatets slagseghet synes en tillsats av ca 10% produktionsspill av ett likartat HIPS vara den enklaste och effektivaste åtgärden.

Kvarstående problem är färggenomslag i sandwich-konstruktioner.

2.6 Informationsspridning

Seminarier

Under projekttiden har information i form av föredrag om projektet lämnats under seminarier som organiserats av AFR/AFN vid tre tillfällen:

- i Stockholm 1997
- i Borås 1998
- i Stockholm 1999.

I november 1998 arrangeras ett seminarium betitlat Plaståtervinning av

projektledningen i Gnosjö.

I samband med deltagande i konferenser och seminarier i utlandet har information om projektet givits muntligt till enskilda personer eller till grupp:

- Identiplast i Bryssel november 1997, organiserad av APME
- R´99 i Geneve, work shop plastics recycling hindrances februari 99
- Verwertung vom Kunststoffen aus dem Altauto, seminar i Wuerzburg febr 99
- Identiplast i Bryssel april 1999, organiserad av APME

Övrigt

I samband med besök hos Stena Bilfragmentering har vid ett flertal tillfällen såväl svenska som utländska leverantörer och branschkollegor med intresse för återvinning av kylmöbler eller plast informerats om projektet.

3. MARKNAD

Helt avgörande för en kommersiell produktion av ett kylskåpsrecyklat är förstås att det finns en marknad för recyklatet ifråga.

Med utgångsprodukt från erfarenheterna samlade både under projektet och tidigare så skall ett försök göras att analysera och värdera behovet av recyklatet på marknaden.

En utvärdering av marknadsmöjligheterna i Sverige gjordes för ett par år sedan inom ramen för Stena Bilfragmenterings projekt .

Delar av den utredningen redovisas i det följande och kommenteras i ljuset av erfarenheterna från detta projekt.

3.1 Utredning av svensk marknad 1996

3.1.1 Applikationer

Det finns 1000-tals olika kvaliteter i styrenplastfamiljen som spänner över ett fält från hård ren GPPS (General Purpose Poly Styren) till slaghållfasta ABS och mjukare SB-sorter. Genom legering med t ex PC (polykarbonat) åstadkomms ännu fler plastsorter. Det finns kvaliteter avsedda för formsprutning, extrudering och vacuumformning. Applikationer för styrenplasterna är otaliga. De återfinns i hushållsapparater, elektronik, bilar, möbler, förpackningar (styrenbägare och tråg) och som isolering (cellplast).

Vi utgår ifrån att kylskåpsrecyklatet specificeras som en MIPS (Medium Impact Poly Styren) och är kvalitetssäkrat.

Vi söker ett segment på plastmarknaden som kan tänkas använda MIPS.

Segmentet bör omfatta en del av marknaden för HIPS, som är ett något dyrare material och en del av marknaden för GPPS som är ett något enklare material.

Inkluderas sandwichteknik så vidgas segmentet betydligt. Då kan recyklatet också komma till användning i mer kvalificerade applikationer som t ex liner i kylmöbler. Även ABS-applikationer bör då tas med.

3.1.2 Styrenplaster

Totala mängden styrenplaster som konsumeras i Sverige torde röra sig om minst 60.000 årston. En stor del går till förpackningar och isolering. Mängden ABS som mest går till formsprutning uppskattas till 12.000 ton och slagfast PS till ungefär detsamma.

Antalet företag som använder styrenplaster är stort. Enligt Plastforums undersökning kommer hos plastbearbetarna ABS som tredje material och PS som fjärde efter PE och PP.

Potentiellt finns alltså en stor marknad.

Men kylskåpsrecyklatets nackdelar begränsar användningsområdet för homogent recyklat till applikationer som klaras mekaniskt av GPPS och MIPS och för vilka mindre mängder föroreningar och ytfinish kan tolereras.

Av en total förbrukning idag på ca 25.000 årston av ABS och slagfast PS kan kanske uppskattningsvis 10% därav eller 2.500 ton gå till produkter som kan tänkas acceptera vårt kylskåpsrecyklat.

3.1.3 Användningar och volym för recyklat

Möjliga användningar och volymuppskattning gjord 1996

Produkt	Intressent	Volym	Anm.
Påshandtag	B. Thulin Plast	25 ton	ca i milj. handtag
Dörrkarm	"	50 ton	
Andra profiler	"	50 ton	
Extruderad platta	Formaterm	100 ton	
Badkarsfot	STG-plast	10 ton	
Staket	A-Staket	50 ton	
Jalusilucka	Euroform	100 ton	
Lådor m m	IKEA	100 ton	
Galgar	--	500 ton	
Summa		ca 1.000 ton	

Den volym som skall placeras ca 1000 årston av recyklat är ganska stor. Kylskåpsrecyklatet skall också kunna konkurrera med andra recyklat i huvudsak baserade på produktionsspill.

Klädgalgar är en av de största applikationerna för GPPS med en årsförbrukning på några tusen årston. En del galgar insamlas i handeln, mals ned och regranuleras. Det görs bl a av Plastic Recycling AB. Detta företag skulle kunna använda kylskåpsrecyklat som en råvara tillsammans med material från galgar. Även Meltic har förutsättningar att göra motsvarande uppärbetning.

Regranulat av ABS och PS marknadsförs i Sverige av företag som sysslar med plaståtervinning såsom Plastic Recycling, Rondoplast, HA Plast samt tradingföretag såsom Forum International, Erka och A. Hillertz/Meltic.

Till volymen på ca 1000 ton skall läggas marknad för sandwichutförande i kylmöbler. I Sverige använder Electrolux ca 4.000 ton HIPS i innerlinerför att tillverka ca 600.000 kylmöbler.

Uppskattningsvis mellan 500 och 1000 ton recyklat skulle kunna användas som mellanskikt i innerväggarna.

3.1.4 Priser

Aktuell prisnivå i juli 96 för en måttligt slagfast polystyrenkvalitet avsedd för formsprutning var ca 7-8 kr/kg enligt BASF i Sverige.

ABS-kvaliteter kostade 1996 ca 15 kr/kg enligt Bayer i Sverige.

I Tyskland låg 1996 enligt uppgift från en tysk återvinnare prisnivån för ett polystyrenrecyklat av den typ som de framställer t ex från kylmöbler på ca 50% av junfrulig vara för ett malet ofiltrerat material och ca 75% för ett regranulerat. Med aktuell prisnivå i Tyskland 1996 innebar det för ett enbart malet recyklat för 0,75 DM/kg eller 3,40 kr/kg och filtererat regranulat 1,25 DM/kg eller 5,60 kr/kg. Det senare

var antagligen för dyrt för återvinnaren KRG, som sålde mest malet recyklat. Det allra mesta exporterades till Italien och Sydostasien.

Rimliga priser i Sverige utgående från att vanlig polystyren kostar 7 kr/kg är för ett ofiltrerat recyklat 3,50 kr och för ett filtrerat regranulat 5,25 kr/kg. En vanlig plastbearbetare behöver ha ett filtrerat regranulat. Det finns knappast någon tänkbar plastprodukt där ett ofiltrerat recyklat kan användas direkt.

Alternativt kan malet recyklat erbjudas till en svensk plaståtervinnare som vidareförädlar och erbjuder svenska bearbetare ett filtrerat regranulat eller efter färgtillsats och stabilisering ett ännu bättre regenerat. Meltic är en potentiell vidareförädlare.

3.1.5 Exportmarknad

En stor del av i Sverige återvunnen plast exporteras. Inom Europa går exporten till Italien och Spanien. Men den största delen säljs till länder i Sydostasien exv HongKong, Taiwan och Malaysien. En större och mer diversifierad plastindustri, lägre kvalitetskrav och tillgång till billigare arbetskraft är sannolikt viktiga orsaker. Men dessutom har utbildats en kultur på plaståtervinning och utvecklats teknik som ger dessa länder ett försprång i återanvändning av plast.

Tradingföretagen har kontakterna för att förmedla exportaffärer. Det för export intressanta alternativet är antagligen malet och ofiltrerat recyklat.

3.2 Utvärdering av marknad 1999

3.2.1 Användningar och volym

Under projektets gång har få potentiella kunder visat verkligt intresse. Flera av de listade, t ex Euroform tappade intresset.

Det är tungt att ens få provkörningar till stånd. Tillverkare av galgar t ex har inte ens gjort avtalade provkörningar trots tjt.

Det finns uppenbarligen innte ett behov av vårt kylskåpsrecyklat bland plastbearbetare av PS och HIPS, åtminstone inte till den prisnivå 3-4 kr/kg som vi uppgivit.

Erfarenheterna är att även om det finns en potentiell marknad så krävs det en betydande resursinsats för att utveckla ett antal användningar och kunder av det slaget som listades 1999. Frågan är om det är värt mödan.

En slutsats är att en satsning på återvinning av recyklat från kylmöbler sannolikt förutsätter att en användning utvecklas hos en slutanvändare av plast med egna produkter (OEM = original equipment manufacturers) som Electrolux, som har ett eget intresse i recyklatanvändning.

Potentiell marknad och användning - åtminstone till att börja med - reduceras därmed till applikationer för extrudering och formsprutning av sandwichkonstruktioner.

3.2.2 Priser

1998 var prisnivån för GPPS fortfarande låg, ca 7 kr och för en mer slagfast MIPS något högre.

Recyklat av malet produktionsspill av typen HIPS har enligt Arlaplast och tillverkare av galgar kunnat köpas till ca 4 kr/kg. Dessa företag köper då ganska stora volymer.

Under 1999 har oljepriserna ökat och därmed ökar också plastpriserna. GPPS ligger i augusti 1999 på ca 8 kr/kg och tenderar att öka.

3.2.3 Produktkrav

Pris

Plastbearbetare använder recyklat för att det är billigare än jungfruligt material.

Produktionsspill i malen eller regranulerad form betalas med en prisreduktion på 25 - 50% beroende på typ, renhet, färg mm.

Efterfrågan är mycket prisberoende.

Inträffar brist på plastråvara, vilket händer då och då varje decennium så ökar vanligen efterfrågan på recyklat lavinartat för att försvinna lika snabbt då utbudet normaliseras.

Kylskåpsrecyklatet får inte kosta mer än 3,50 kr/kg pm GPPS kostar 7 kr/kg enligt Bengt-Göran Ottosson, Meltic.

Bengt Thulin, från Thulinplast menar att ett pris på 2 kr/kg kunde sätta fart på användningen.

Galgfabrikanter vill ha löfte om ett pris på max 3 kr/kg för att överhuvudtaget testa recyklatet.

Kvalitet

Recyklatkunder är vana att kvaliteten för produktionsspill t ex mekaniska egenskaper är i stort sett detsamma som för jungfruligt material.

Renhet krävs också. Om föroreningar förekommer är de kända och hanterbara av kunden.

Jämfört produktionsspill av HIPS eller ABS har kylskåpsrecyklat, några uppenbara nackdelar som kan skrämja bort en del aspiranter:

- det innehåller föroreningar som kan eventuellt ge process-och produktproblem
- det är tämligen sprött jämfört jungfrulig HIPS
- det är grått och innehåller synliga svarta prickar

Tillgänglighet och volym

Plastbearbetaren som utvärderar att sätta in ett recyklat i en applikation måste veta i vilka mängder det finns att tillgå, om han kan räkna med detta recyklat för flera år framåt och om priset kan förväntas bli stabilt.

En fördel med kylskåpsrecyklatet är att tillgänglighet av en viss volym kan garanteras när tillverkning startat samt att volymen av samma material är stor, ca 1000 ton.

Det är en stor skillnad mot demonterade och källsorterade plaster från t ex elektronik där årskvantiter kan röra sig i bästa fall om 10-tals ton av en viss plast.

Den stora volymen av kylskåpsrecyklat skapar också förutsättningar för att utveckla en speciell produkt baserad på recyklatet.

3.2.4 Andra drivkrafter

Nya krav ställs på producerande företag att spara resurser i form av t ex förslaget till EU-direktivet om E + E avfall (2).

Kylmöbler skall återanvändas, eller materialet återanvändas eller återvinnas i andra produkter till sammanlagt minst 90% senast 2006.

Användning av produktionsspill är inte medräknat.
EU-kraven pressar tillverkare av kylmöbler och andra vitvaror att söka återvinningslösningar.

OEM-tillverkarna av hushållsapparater, bilar och elektronik ber sina underleverantörer plastbearbetarna att finna lösningar med bibehållen kvalitet och bibehållet pris.

Här ligger den egentliga drivkraften för utveckling av applikationer av plastrecyklat från gamla kylmöbler.

En kylmöbel som tjänat ut i Sverige idag väger enligt statistik från Stena Freonåtervinning i snitt ca 51 kg och innehåller ca 4 kg PUR-skum och 6 kg plast m m.

Fraktionerna PUR-isolering och plast utgör tillsammans alltså ca 20% av vikten och återvinns normalt inte.
Materialåtervinning av PUR-isolering är tekniskt möjlig t ex till pressade plattor men inte ekonomisk.

Alternativet att återvinna termoplasterna för att nå 90% återvinning är mer logisk och ekonomiskt mer fördelaktigt.

Ur teknisk synpunkt bör en återanvändning i samma applikation vara optimal. Plasten i både gamla och nya kylmöbler är av samma slag avsedd för extrudering och vaccumformning.

För innerliner i kylmöbler erbjuder också sandwichkonstruktionen en besparingsmöjlighet. Tillverkningen av plattor är idag så rationell med så litet personal att inga besparingar kan göras på den sidan längre.
Därför erbjuder ett 2 eller 3-skikts utförandet av plattan med ett recyklat invändigt som kostar hälften av nyvaran HIPS en materialbesparing på 25% om halva plattan görs med recyklat.
Kanske kan ännu mer ersättas.

3.3 Europamarknad

Om en svensk potentiell marknad exklusive återanvändning i kylmöbler uppskattas till 1.000 ton så bör hela europamarknaden för kylskåpsrecyklat vara ca 20.000 ton.
Användningen i kylmöbler i sandwichutförande skulle kunna utgöra ytterligare 10.000 ton.

Förutsättningarna att starta och driva en produktion av kylskåpsrecyklat bör vara bättre i centraleuropa än i Norden av flera skäl:

- stor produktion av kylmöbler underlättar avsättning i vitvaruindustrin
- plastindustrin har större bredd och fler nischer än i Norden, vilket underlättar avsättning av recyklatet utanför vitvaruindustrin
- större volymer möjliggör storskalig produktion i t ex Tyskland, Holland eller Italien och därmed lägre produktionskostnad för recyklatet
- mindre avstånd ger lägre transportkostnader

3.4 Sammanfattning

- *Recyklat från kylmöbler fyller inget behov hos plastbearbetare av styrenplaster i Sverige.*
- *Plastbearbetare förutsätter en kvalitet motsvarande recyklat från produktionsspill och motiveras enbart av ett lågt pris på kylskåpsrecyklatet i vanliga applikationer*
- *Endast tillverkarna av kylmöbler, i Sverige Electrolux, har tillräckligt motiv att utveckla en användning av recyklat från kylmöbler både p g a kravet på ökad återvinning i nya produkter och för kostnadsbesparing*
- *Marknaden för recyklatet finns till att börja med i sandwichprodukter inom vitvarubranschen.*
- *Förutsättningarna för recyklatproduktion och avsättning är sannolikt större i Centraleuropa än i Norden*

4. PRODUKTION OCH EKONOMI

4.1 Volymer

4.1.1 Sverige och Norden

Mängd plast som ingår i en kylmöbel varierar givetvis med storlek och typ och med fabrikat.

Åldern på kylmöbler som kommer in i Sverige uppskattas till ca 15 år.

I en typisk svensk kylmöbel från 80-talets början fanns enligt konstruktionsuppgift från ASKO 1,9 kg HIPS, 3,3 kg ABS och 0,4 kg SAN eller summa 5,6 kg.

Enligt uppgift från Electrolux i Motala var 1998 mängd innerliner av HIPS ca 6,2 kg för de kylmöbler som tillverkas i Sverige av Electrolux.

Plastfraktionen som erhålls från återvinningen av kylmöbler i Halmstad motsvarade åren 95-96 ca 7 kg per kylmöbel.

Mängden synes efterhand ha minskat. I ett prov omfattande 1300 skåp kört våren 1999 uppmättes 5,8 kg/kylmöbel.

Stena Miljö A/S anläggning i Norge redovisar en plastfraktion som utgör knappt 5 kg per kylmöbel.

Under återvinning av kylmöbler sker en del förlust av plast, som varierar beroende på tekniken, hur rent malgodset blir efter grovmalning och hur effektivt luftsepareringen av PUR-skummet utförs.

Plast följer i viss mängd med i järnfraktion, metallfraktion och i PUR-fraktion.

För beräkning av återvinningsbart recyklat i Sverige och Norden väljs värdet 5,8 kg som medelvärde per kylmöbel.

Av materialbalansen i figur 5 framgår att återvinningsbar mängd plast är $0,72 \times 5,8 \text{ kg} = 4,18 \text{ kg}$ från plastfraktionen.

Mängd färdigt recyklat per kylmöbel uppgår till knappt 3,5 kg enligt samma materialbalans.

Startas produktion av rårecyklat är det sannolikt att utbytet förbättras. Därför bör en återvunnen mängd recyklat på 3,5 kg vara ett rimligt värde och inte i överkant.

Producerat recyklat kommer sannolikt att innehålla en tillsats av ca 12 % HIPS eller PPO. Under smältfiltreringen uppstår en förlust av material som uppskattas till max 2%. Säljbar mängd recyklat per kylmöbel blir då ca 3,9 kg.

Antal kylmöbler som återvinns i Sverige var 1998 med tre större anläggningar tillhörande Stena Freonåtervinning, Svensk Freonåtervinning och Bjästa Freonåtervinning ca 300.000. Tekniken i anläggningarna är likartad.

I Norge är antalet i stigande mot ca 150.000. Stena Miljö A/S upparbetar f n ca 75.000.

I Danmark är situationen annorlunda. En del kylmöbler upparbetas genomstorskalig fragmentering och efterföljande uppsamling och förbränning av skummet. Andra kylmöbler skickas till upparbetning i Tyskland där man använder liknande teknik som i Sverige.

Mängd tillgänglig plastfraktion från Danmark är svår att uppskatta.

I Finland förekommer inte en återvinning av kylmöbler som omfattar freonutvinning ur isoleringen.

Tillgängliga volymer av kylmöbler samt plastfraktion från dessa kan uppskattas till:

	Stena		Övriga		S:a	
	Kylmöbler	Plast ton	Kylmöbler	Plast ton	Kylmöbler	Plast ton
Sverige	150.000	870	150.000	870	300.000	1.740
Norge	75.000	435	25.000	145	100.000	580
Summa	225.000	1.300	175.000	1.015	400.000	2.320

Det framgår av uppskattningen att Stena har tillgång till störst mängd plastfraktion och bör ha bäst möjligheter att starta en produktion av recyklat.

Förutsätts en upparbetning i Halmstad av plastfraktion till ett rårecyklat genom finmalning och rening i befintlig kabelgranulering samt separering över våtbord erhålls följande mängder av råvara = plastfraktion och produkt = rårecyklat.

	råvara= plastfraktion <u>5,8 kg/kylm.</u> ton	produkt= rårecyklat <u>3,5 kg/kylm.</u> ton
Tillgängligt hos:		
Stena i Halmstad	870	525
Stena i Oslo	435	265
Stena summa	1305	790
Tillgängligt hos:		
GA i Älmhult	725	440
BÅ i Kramfors	290	175
Övriga summa	1.015	615
Total summa	2.320	1.400

Inom Stena-gruppen finns alltså tillgängligt ca 1.300 ton plastfraktion som kan ge ca 800 ton rårecyklat för vidare upparbetning.

Svensk Freonåtervinning har ett avtal med Gotthard Aluminium i Älmhult om upparbetning av en restfraktion från kylmöbler som innehåller såväl metaller och en del järn som plasten. Fraktionen körs i turboseparator i Älmhult. Utredningen (6) som

refereras till i avsnitt 3.1.4 avser detta material.

Gotthard Aluminium ingår idag i gruppen Stena Gotthard Metall.

Forsätter avtalet så kommer i Älmhult en förbehandlad plastfraktion lämplig för separering på våtbord att finnas tillgänglig i Älmhult. I kvantiteten 725 ton har medtagits i Norge upparbetade kylmöbler av Svensk Freonåtervinning 25.000 st.

Om inte upparbetningen sker i Älmhult med turboseparator så är det sannolikt att den i stället sker i Halmstad genom grovmalning och kabelgranulering.

Möjligheterna att till Halmstad få in en plastfraktion på minst 2.000 årston och upparbeta ett rårecyklat därav motsvarande 1.200 årston kan bedömas som mycket goda.

4.1.2 Europa

I Tyskland, Holland, Luxemburg, Schweiz och Österrike återvinns kylmöbler med utvinning av freon på samma sätt som i Sverige.

I Italien har liknande återvinning startat och detsamma synes gälla Spanien och Frankrike.

I en ny förordning för återvinning av CFC från EU som troligen beslutas våren 2000 så skall återvinning av kylmöbler göras på ett miljöriktigt sätt i alla medlemsländer. Huruvida detta innebär att en utvinning av CFC från isoleringen måste göras är ännu oklart.

I Tyskland återvinns närmare 3 milj kylmöbler och i Schweiz ca 150.000 årligen. Uppgifter från andra länder saknas.

I Italien har en volym på ca 1 milj kylmöbler förusetts.

En gemensam återvinning av ca 4 milj kylmöbler i de aktuella länderna kan vara ett rimligt antagande.

Kylmöbler i Schweiz är av samma storlek som i Sverige men i Tyskland är de i genomsnitt mindre.

Det antas att mängd plastfraktion per kylmöbel utgör 4,5 kg och återvinningsbart rårecyklat 2,7 kg.

Om vi antar att en tillgänglig mängd för återvinning är hälften av 4 milj så blir plastfraktionen att upparbeta $2.000.000 \times 4,5 \text{ kg} = 9.000 \text{ ton}$.

Mängd rårecyklat blir 5.400 ton.

Tillsats av nytt HIPS i form av produktionsspill är antagligen inte nödvändigt då kontinentala kylmöbler innehåller enbart HIPS sedan många år.

Troligen är slagsegheten tillräcklig. Säkert underlag för en sådan bedömning har inte kunnat påträffas.

4.2 Teknik och investering

4.2.1 Malning och rening

I projektet har grov malning och fin malning genom kabelgranulering provats.

Metoden som väljs beror av plastfraktionens innehåll av järn och framför allt rostfritt stål. Risken för förekomst av rostfritt stål verkar ganska liten.

Därför är kabelgranulering bestående av en eller flera kvarnar som mal materialet med galler ca 6 mm, plus magnet och skakbord för luftseparering lämplig utrustning.

Kabelgranuleringsanläggningar finns i alla länder i Europa och har ungefär samma uppbyggnad.

Hos Stena Bilfragmentering befintlig utrustning har en kapacitet av ca 1000 kg/tim av ingående plastfraktion.

En kabelgranulering av den typ som finns Halmstad kostar mellan 5 och 10 milj kr och är främst avsedd för att separera metaller i kabel.

En betydligt enklare anläggning bestående av en kvarn och ett skakbord borde vara fullt tillräckligt för att åstadkomma tillräcklig rening innan separeringen.

Dock behövs fortfarande kringutrustning som transportörer och luftsystem med cykloner och filter vilket utgör en betydande kostnad.

Därför är det antagligen bäst och billigast att kunna utnyttja existerande anläggningar. Det gäller såväl för Stena i Halmstad som på andra ställen i Europa.

4.2.2 Torr metod

Med torr metod avses triboelektrisk separering.

Den kan installeras i serie med en kabelgranulering. Det är vanligt att elektrostatisk separering används i anslutning till kabelgranulering för att ur plastavfallet ta ut restmetall.

Priser av budgetkaraktär har erhållits från Hamos och från Kali + Salz via Steinert som representerar K + S.

En s k EKS separator från Hamos med kapacitet 1000 kg/tim för en passage av materialet med återgång av blandmaterialet kostar ca 250.000 DEM eller 1,2 milj kr.

En ESTA-anläggning i två steg med kapacitet 2,5 ton av ingående material - mindre offeras inte - kostar ca 600.000 DEM eller 2,8 milj kr.

EKS-separatören från Hamos är inte färdigutvecklad och testad för kylskåpsrecyklat.

ESTA-separatören har i projektet visat sig ha förutsättningar att klara reningskravet men är dyr.

Den är överdimensionerad för den produktion som kan bli fråga om i Halmstad ca 2.000 årston.

4.2.3 Våt metod

Separering över våtbord har gett bättre rening än ESTA-metoden. Möjligheter att förbättra separationsresultatet finns.

På bordet som vibrerar avskiljs högst upp en fraktion med metaller som är tyngst, därunder avskiljs tunga plaster, gummi m med densitet från ca 1,20 kg/l medan resten av materialet fått bli accept.

Det torde finnas möjlighet att också avskilja en lättfraktion av plast plus en del kabel-

PVC genom att avskilja en fraktion längs ned på bordet. Våtseparering på ett vibrerande bord används i anslutning till kabelgranuleringsanläggningar. De finns installerade på ett antal platser i Europa.

Tekniken har länge använts i gruvindustrin för separering av ädelmetaller och har under de senare decennierna introducerats och vidareutvecklats av Hans Ahlström, Recycling Service i Schweiz.

Den utrustning som installerats hos Stena Bilfragmentering i Halmstad testas på olika materialfraktioner i samarbete med Recycling Service.

Vattnet som sprids över bordet recirkuleras i ett slutet kretslopp. Föroreningar sedimenteras och avskiljs. Problemet med kontinuerlig rening av processvatten undviks alltså.

Kapacitet med plastfraktionen är något osäker men sannolikt ca 1 ton per timme. Körs våtbordet i serie med kabelgranulering så bör våtbordet kunna hålla undan.

Investeringskostnad med installation och inmatning är ca 2,5 milj kr.

För körning av plastfraktion är torkning en viktig process. En utrustning som byggdes för ändamålet måste kompletteras med en annan tork. Priset för den utrustningen är ca 200.000 kr.

Sedan tillkommer en station för silering av färdigt rårecyklat och tömning på storsäck 2 ton. Totala kostnaden för anläggningen kan uppskattas till 3 milj kr varav specifika investeringskostnader för att köra plast utgör ca 500.000 kr.

4.2.4 Smältfiltering

Anläggningen som användes hos Orbit är en specialmaskin från Erema för extrudering av återvinningsplast och kompletterad med ett filtersystem från Gail. Kapacitet är minst 400 kg/timme. En anläggning av det här slaget kostar över 5 milj kr.

Hos Meltic finns en enklare utrustning vars kapacitet för vårt material är 250 kg/timme. För att köra kylskåpsrecyklat måste utrustningen kompletteras med ett kontinuerligt arbetande smältfilter från Gail. Pris 180.000 DEM. Med installation så blir tillkommande investering för Meltic 1 milj kr.

Meltic har hela infrastrukturen klar som plaståtervinnare och goda lagerytor för att ta hand om storsäckar med rårecyklat och lagra färdigt recyklat i samma form.

4.3 Kostnad

Kostnaden som uppskattas här baseras på antagandena ,

- att Stena Bilfragmentering i Halmstad framställer ett rårecyklat och att Meltic i Lanna gör ett färdigt recyklat för avsalu
- att teknikvalet är kabelgranulering i existerande utrustningar kombinerat med separering av restmetaller och plast på våtbord

- att kvaliteten skall klara sandwichkonstruktion hos Electrolux och en del övriga enklare applikationer
- att Stena Bilfragmentering upparbetar 2.000 ton plastfraktion varav framställs 1.200 ton rårecyklat.

4.3.1 Transport

Transporterna omfattar intransport av plastfraktion till Halmstad och uttransport av säckar med rårecyklat från Halmstad till Lanna.

Transport av plastfraktion sker i skrotcontainer 30 m³ och 3 st per bil.

Med plastfraktion och densitet ca 300 kg/m³ lastas knappt 27 ton.

I flera fall är returtransporter möjliga.

Transportkostnad per ton från Oslo	350 kr x 435 ton =	152.250 kr
Transportkostnad per ton från Älmhult	200 kr x 725 ton =	145.000 kr
Transportkostnad per ton från Kramfors	450 kr x 290 ton =	130.500 kr
Intransporter totalt	295 krx1450 ton =	427.750 kr

Uttransport av rårecyklat till Lanna beräknas kosta 250 kr /ton.

Med en upparbetning av 2.000 årston plastfraktion så finns redan 870 ton i Halmstad.

Resten, 1130 ton kommer från angivna platser och kostar i genomsnitt 295 kr/ton i intransport eller 333.350 kr.

Inräknat befintligt material blir snittkostnad för intransport 167 kr/ton.

Från Lanna blir det sedan en transportkostnad till kund. Om vi för enkelhets skull räknar med att större delen går till Motala i storsäck 2 ton så bör priset 250 kr/ton vara tillräckligt.

4.3.2 Tillverkning

Förutsättningar för kalkyl:

- tillgänglig tid dag eller skift 1672 timmar (220 dag x 8 h x 0,95)
- årskostnad en man 300.000 kr
- årskostnad för truck eller hjullastare inkl. en man 500.000
- kapitalkostnad 20%
- elpris 0,50 kr/ kWh
- deponikostnad inkl avfallsskatt 250 kr är 400 kr/ton

4.3.2.1 Tillverkning av rårecyklat

Kapacitet plastfraktion in 1000 kg/h.

Kabelgranulering och våtbord sköts av en person som har hjälp av hjulastarförare med transporter.

Produktion 2.000.000 kg ger produktionstid 2.000 timmar. Med 1672 timmar motsvara det 1,2 personer.

Specifik investeringskostnad är 500.000 kr.
Effektbehov inklusive torkning 100 kW.

Kalkyl årskostnad

Kostnader

Personalkostnad 1,2 man x 300.000 kr	360.000 kr
Elenergi 2000 tim x 100 kW x 0,50 kr	100.000 kr
Underhåll	150.000 kr
Interna transporter 0,25 x 500.000 kr	125.000 kr
Extern transport av rårecyklat	300.000 kr
Deponikostnad för 2.000 - 1.200 ton = 800 ton x 400 kr/ton	320.000 kr
Summa rörlig kostnad	1.355.000 kr

Kapitalkostnad specifikt 0,20 x 500.000 kr	100.000 kr
Summa kostnad före adm. pålägg 20%	1.435.000 kr
Administrativt pålägg 20%	225.000 kr
Summa kostnad före intäkter + bidrag till kapitalkostnad	1.660.000 kr

Intäkter

Utvunnet järn 4% av 2.000 ton x 700 kr/ton	55.000 kr
Utvunnen Al och Cu 5% av 2.000 ton x 8.000 kr/ton	800.000 kr
Minskade deponikostnader för 1.200 ton x 400 kr/ton	480.000 kr
Summa intäkter	1.335.000 kr

Nettokostnad före bidrag till kapitalkostnad 325.000 kr

Bidrag till gemensam kapitalkostnad 500.000 kr

Summa kostnad före vinstpålägg 825.000 kr

Vinstpålägg 15 % på 825.000 kr 125.000 kr

Försäljningsintäkt på 1.200 ton 950.000 kr

Pris per ton rårecyklat till Meltic inkl. transport Lanna	800 kr
---	--------

Förklaringar

I kalkylen har endast kapitalkostnad för investering förorsakad av plastfraktionens upparbetning medtagits.

Övrig utrustning finns ju ändå på plats. Och används för kabel och elektronik.

Därför är endast bidraget som plaståtervinningen kan ge till gemensamma kapitalkostnader av intresse.

Bidraget har satts till 500.000 kr . Det motsvarar en investering på 2,5 milj kr och täcker i princip hela avskrivningen för våtbordet.

Utvunnet järn och metaller är baserad på materialbalans från prov som körts.
Summa återvinning i kabelgranulering + från våtbord uppskattas i Halmstad till 7%.Troligen är halten lika i Oslo och Bjästa.

I Älmhult utvinns metaller från en blandfraktion. Men förlusterna av metaller i finfraktionen är förmodligen ganska höga.

Ett medelvärde har satts till 5%.

4.3.2.2 Smältpfiltrering hos Meltic

Meltic erhåller 1.200 ton rårecyklat.

För kvalitetssäkring tillsätts:

- 12% HIPS av extrusionsgrad med pris 4 kr/kg (helst från Electrolux)
- 0,25% stabilisator från Ciba Geigy pris 50 kr/kg

Produktion i plastspruta 250 kg/h. Recyklatet granuleras, torkas och läggs direkt i storsäck 2 ton.

Meltic kör i plastsprutan liknande produktion av annan plast. Körningarna görs kontinuerligt dygnet runt i kampanj. Varje körning omfattar några 100 ton.

Anläggningens nypris kan uppgå till ca 5 milj kr. Specifik investering för körning av kylskåpsplast är smältafilter från Gail till kostnad 1.000.000 kr.

Meltic kommer sannolikt att kunna utnyttja smältafiltret för en del andra jobb i framtiden.

Effektbehov inklusive torkning 100 kW.

Maskinen sköts av en person som övervakar sprutlinjen och sköter transportererna på halvtid och på halvtid gör annat. På natt sker passning på distans. Arbetsinsatsen under halva dygnet anses vara 0,25 personer.

Genomsnittlig arbetstid blir då 0,38 personer dygnet runt.

Körtid för 1.200.000 kg / 0,8 = 1.320.000 kg är 5.280 timmar.

Meltic räknar med 20 tillgängliga timmar per dygn och kör dygnet runt inkluderat helger.

Antal hela dagar för körning blir 5.280 / 20 = 264 dagar. Lägg körningarna upp så att man kör t ex 14 dagar i rad och producerar 70 ton så behövs 19 körningar under året.

Kalkyl årskostnad

Inköp av rårecyklat från Stena	950.000 kr
Personalkostnad 0,38 man x 5280 /1672 x 300.000 kr	360.000 kr
Elenergi 5280 tim x 100 kW x 0,50 kr	265.000 kr
Underhåll	125.000 kr
Interna transporter, lager 0,20 x 500.000 kr	100.000 kr
Tillsats av HIPS 0,10 x 1.200.000 x 4 kr/kg	480.000 kr
Tillsats av stabilisator 0,025 x 50 kr/kg x 1.320..000	165.000 kr
Summa rörlig kostnad	2.320.000 kr
Kapitalkostnad specifikt 0,20 x 1.000.000 kr	200.000 kr
Summa kostnad före adm. pålägg 15 %	2.520.000 kr
Administrativt pålägg 20%	385.000 kr
Summa kostnad före bidrag till kapitalkostnad	2.905.000 kr
Bidrag till gemensam kapitalkostnad	250.000 kr

Summa kostnad före vinstpålägg	3.155.000 kr
Vinstpålägg 15 %	475.000 kr
Försäljningsintäkt på 1.300 ton	3.630.000 kr

Pris per ton rårecyklat till kund exkl. transport	2.800 kr
---	----------

4.3.3 Försäljning

I kalkylen ovan för Meltic finns administrativa kostnader som avser täcka arbetsledning, kvalitetskontroll och en del försäljningskostnader för emballage m m.

Kostnader för marknadsföring av recyklatet är inte medtagna. Möjligheterna att från Meltics sida utveckla applikationer är små.

Priset 2.800 kr/ton förutsätter att försäljningen sker med avtal till ett fåtal större kunder.

4.4 Recyklattillverkning på kontinenten

Kalkylen för en anläggning som ligger t ex i Tyskland av typ Orbit eller i Italien dimensionerad för dubbelt så hög kapacitet som Meltic alltså 500 kg/h borde sannolikt med stort kapacitetsutnyttjande få en lägre kostnad för recyklattillverkningen.

Kan dessutom tillsatsen av produktionsspill av HIPS undvikas så förbättras kalkylen ytterligare.

Framställningen av rårecyklat som det beräknats hos Stena torde inte kunna bli mycket billigare även i något större produktionsmaskiner.

Men om kvittblivningskostnaden för plastfraktionen är hög, i Schweiz exempelvis lär det kosta över 1.200 kr/ton att skicka plasten till cementugn, så kan plaståtervinnaren få mer subventioner från leverantörerna.

En gissning är att framställningskostnaden i Italien av ett recyklat skulle kunna ligga på nivån 2 - 2,50 kr/kg.

4.5 Sammanfattning

- *Under förutsättning att en del antaganden om kapacitet i Halmstad och nödvändig personal håller, så synes det vara möjligt att vid fullt kapacitetsutnyttjande och en produktion av 1.300 ton recyklat nå lönsamhet i alla led vid en prisnivå på strax under 3 kr/kg.*
- *Viktiga orsaker är bidraget som erhålls av Stena för återvinning av metaller och minskad deponikostnad, ting som inte har direkt att göra med plaståtervinningen!*
- *En pris på ca 3 kr/kg för ett kvalitetsäkrat recyklat fritt Motala borde vara intressant för Electrolux och även några andra stora kunder.*
- *Priset är kalylerat vid full produktion. Det går ju inte direkt att komma upp i en årstakt på 2.000 ton plastfraktion. Men eftersom en stor del finns i Halmstad, så går det att starta upp med en ganska stor volym över 800 ton från början.*

- *Kalkylen är inte heller särskilt volymberoende eftersom nyinvesteringar är ganska blygsamma. Krävs ny utrustning så ökar kapitalkostnaden. I Stenas fall är dock bidraget till gemensam kapitalkostnad betydande, 0,5 milj kr.*

5. BEDÖMNING AV MILJÖKONSEKVENSER

5.1 Ansats

Bedömning görs först av kylskåpsplastens förutsättningar att utgöra ett miljöriktigt återvinningsmaterial.

I bedömningen bör substitutionsfaktorn ingå, d v s i vilken grad recyklatet ersätter jungfrulig plast och på så sätt sparar resurser.

Som stöd för värderingar kommer att refereras till jämförelser av återvinningsalternativ utförda i Tyskland på förpackningsplast och blandad plast av Fraunhofer Institut m fl på uppdrag av VKE (Verband Kunststofferzeugende Industri) , APME m fl (7,8,9,).

Idag läggs plasfraktionen på deponi av Stena Freonåtervinning i Halmstad, som har en egen deponi för fragmenteringsavfall.

För andra återvinnare av kylmöbler förekommer såväl deponering som avfallsförbränning med energiåtervinning. Stena Miljö A/S i Oslo som ligger i anslutning till en kommunal avfallsförbränning tillhörande (ORV) Oslo Renhållningsverk energiåtervinner i denna anläggning plastfraktionen.

En bedömning av alternativen materialåtervinning och energiåtervinning jämfört deponering är föga intressant.

På sikt kommer deponeringsalternativet knappast att vara aktuellt.

I den tyska studien (7) finner man att alla återvinningsalternativ är i princip att föredra framför deponering.

Endast återvinningsprocesser med mycket hög miljöbelastning kan vara sämre än deponi ur miljösynpunkt.

Viktigast är jämförelsen mellan de återvinningsalternativ som i praktiken kan komma ifråga under det första decenniet av 2000 talet, nämligen materialåtervinning eller energiåtervinning genom avfallsförbränning. De kommer att jämföras och miljöbelastningen värderas.

Miljöbelastningen för en produkt/process kan uppskattas med t ex det i Sverige ofta använda EPS-systemet (10). Miljöbelastning värderas i ELU = environmental load units. En formellt korrekt beräkning av miljöbelastning för återvinningsalternativen kommer inte att kunna göras inom ramen för detta projekt. En sådan är alltför tidskrävande. Endast en uppskattning och sammanvägning av de viktigaste faktorerna kommer att utföras.

5.2 Materialåtervinning

5.2.1 Kylskåpsplastens sammansättning

Plastfraktionen som kommer från återvinningen av kylmöbler är en blandning som innehåller flera plaster, gummi och metaller.

Betraktat ur miljösynpunkt är främst innehållet av tungmetall företrätt av koppar en belastning vid varje form av omhändertagande. Koppar finns mest som tunna trådar i kopparledare.

Klor som förekommer i halter mellan 2 och 5% är också problematiskt.

Kloret är bundet till mjukgjord PVC. I en deponi sker sannolikt mycket litet under flera hundra år med denna PVC. (11) under normala betingelser. I händelse av deponibrand kan däremot förekomsten av PVC tillsammans med koppar bidra till dioxinmissioner, vilket bl a visas i en utredning av Miljökonsejterna(12).

Vid förbränning av plastfraktionen bildar kloret klorväte och saltsyra som kan förorsaka korrosionsproblem i ugnen och sura utsläpp.

När plastfraktionen renas till ett rårecyklat så minskar halten koppar och halten klor till värden som ligger på ungefär samma nivå som i hushållsavfall, för klor ca 0,5%.

I övrigt förekommer i plastfraktionen från kylmöbler inga ur miljösynpunkt farliga ämnen till skillnad från plastfraktioner från E+E-avfall där även andra tungmetaller t ex kadmium och bromerade flamskyddsmedel är vanligt.

Rårecyklatet har alltså en sammansättning som passar både för materialåtervinning och energiåtervinning.

5.2.2 Substitutionsfaktor och sandwichkonstruktion

Substitutionsfaktor

Recyklatet kommer antingen att användas som ersättning av HIPS och PS i en homogen produkt eller i en sandwich konstruktion.

Slagseghet är sämre för recyklatet än för HIPS så det kan vara rimligt anta att i vissa applikationer kompenseras detta med att öka tjockleken på produkten då recyklat skall ersätta nyvara.

I sandwichfallet ger konstruktionen i sig en förstärkning. Men det är ändå möjligt att tjockleken i produkten kanske ökas något.

I recyklatet är förutsatt en tillsats av ca 12% HIPS som visserligen är produktionsspill men som vanligtvis skulle ha ersatt jungfrulig plast.

I genomsnitt antas en substitutionsfaktor för recyklatet som ligger på 0,75%.

Sandwichkonstruktion

Är en sandwichkonstruktion med olika material verkligen lämplig? Hur går det med

framtida återvinning ?

För att underlätta materialåtervinning har det funnits en trend under 90-talet att minska antal plaster i en produkt och att undvika blandmaterial och kompositer.

För att en sandwichkonstruktion skall vara fungerande fordras en viss vidhäftning och kompatibilitet mellan skikten.

I fallet med innerliner för kylmöbler eller formsprutade komponenter så skall recykratet ersätta HIPS och lamineras med HIPS.

Önskan är att recykratet blir så likt HIPS som möjligt. Det är en av anledningarna till att produktionsspill av HIPS tillsätts.

Möjligheten att göra ett recykrat av en framtida sandwichkonstruktion i ett kylskåp bör vara god. Bättre än från dagens kylmöbler där blandningen av ABS och HIPS är störande.

5.2.3 Avfall

Under materialåtervinningen sker en rening av materialet, vilket leder till att ännu mer förorenade restfraktioner bildas. Vad gör man med dem?

I första reningssteget erhålls ett lätt avfall av skum, fiber och en del plast plus stoft ca 15% av plastfraktionen och i våtsteget erhålls en tungfraktion med hög andel PVC ca 14%. Totalt i Halmstad 29% eller 580 ton avfall.

I beräkningen av miljöbelastningen nedan har förutsetts att båda avfallen går på Stena Bilfragmenterings deponi för fragmenteringsavfall.

Det är ingen lösning på lång sikt.

Avfallet från steg 1 är ganska harmlöst och har högt bränslevärde. Det skulle säkert kunna gå till avfallsförbränning.

Avfallet från steg 2 innehåller PVC och koppar och påminner i hög grad om avfallet som uppstår efter kabelgranulering.

Detta avfall kan lämpligen behandlas på samma sätt kabelavfall. Än finns vare sig i Sverige eller utomlands någon både kostnadseffektiv och bra lösning.

Det avfall som uppstår hos Meltic, sammanhängande "korvar" av filterkaka med föroreningar ca 26 ton per år avses också deponeras.

5.2.4 Återvinningsprocessen

Materialåtervinning medför en rad processteg, som vart och ett innebär en miljöbelastning.

<u>Steg i materialåtervinning</u>	<u>Miljöbelastning / kommentar</u>
Fjälltransport av plastfraktion	Energi + utsläpp
Malning, rening	Energi+ utsläpp, stoft, avfall
Separering våtbord	Energi + utsläpp, slam, avfall
Transport av rårecyklat	Energi + utsläpp
Smältfiltrering	Energi + utsläpp, avfall
Transport av recyklat	Energi + utsläpp

I det följande antas en produktion av 1.300 ton färdigt recyklat utgående från 2.000 ton plastfraktion på så sätt som beskrivs i avsnitt 5.

Fjärrtransport av plastfraktion

Transporter från Oslo, Älmhult och Kramfors sker med lastbil och tre container vikt 27 ton.

Sammanlagt transporteras 1.130 ton en sträcka på i genomsnitt 400 km.

Energiåtgång 1,0 MJ/ ton km och miljöbelastningsindex 0,0168 ELU/ ton km.

Summerad energiåtgång blir 452.000 MJ. Miljöbelastning 7.594 ELU.

Malning, rening och separering våtbord

Energiåtgång för 2.000 ton plastfraktion är 100 kWh x 2.000 timmar = 200.000 kWh = 720.000 MJ.

Miljöbelastning för elenergi är 0,013 ELU/MJ. Miljöbelastningen blir 9.360 ELU.

Avfallet som uppstår består av PUR-skum, PVC, laminat, fiber m m. Det läggs på deponi i Halmstad för fragmenteringsavfall. Årligt avfall 0,29 x 2.000 ton = 580 ton. Omvi använder miljöbelastningsindex för kontrollerade deponering av mjuk PVC 0,00781 ELU/kg erhålls 580.000 x 0,00781 = 4.530 ELU.

Utsläpp till luft genom stoft är litet då det finns dammfilter.

Transport av rårecyklat

Biltransport av 1.200 ton rårecyklat från Halmstad till Lanna som är 150 km.

Summerad energiåtgång blir 180.000 MJ. Miljöbelastning 3.024 ELU.

Smältfiltrering

Smältfiltrering i Lanna av ca 1.300 ton recyklat och ett avfall från filter på 2% eller 26 ton.

Energiåtgång 100 kWh x 5.280 = 528.000 kWh = 1.900.800 MJ.

Miljöbelastningen 1.900.800 x 0,013 ELU/MJ = 24.700 ELU.

Miljöbelastning för 26.000 kg avfall beräknad som mjukgjord PVC är 203 ELU.

Transport av färdigt recyklat

För transport av färdigt recyklat till kund antas sträckan 200 km.

Energiåtgång 1.300 ton x 200 km x 1MJ/ ton km = 260.000 MJ.

Miljöbelastningen blir 260.000 x 0,0168 = 4.360 ELU.

Nedan har gjorts en sammanställning av energiåtgång och miljöbelastning för plaståtervinningen.

<u>Händelse</u>	<u>Energiåtgång Miljöbelastning</u>	
	MJ	ELU
Fjärrtransport av plastfraktion	452.000	7.594
Malning, rening och separering	720.000	9.360
		4.530
Transport av rårecyklat	180.000	3.024
Smältfiltrering	1.900.800	24.903
Transport av recyklat	260.000	4.360
Summa	3.512.800	53.771

Per kg färdigt recyklat 1.300.000 kg 2,7 / kg 0,041/ kg

Uppskattad energiåtgång för materialåtervinningen blir alltså 2,7 MJ/kg eller 0,75 kWh per kg recyklat och miljöbelastningen 0,041 ELU per kg recyklat.

För processerna i Halmstad har i miljöutredning en uppskattning av energiåtgång och miljöbelastning gjorts.

För fragmentering av komplext skrot är energiåtgången låg 0,042 kWh/kg. Stora kvarnar ger effektiv sönderdelning med ett minimum av energiinsats.

I freonutvinningen i Halmstad är miljöbelastningen mycket beroende på utsläpp av CFC som har ett mycket högt miljöbelastningsindex. Uppskattade värden är per kg kylmöbel exkl. kompressor, d v s det material som sönderdelas och utgör ca 6.000 ton per år.

- energiåtgång per kg krossad kylmöbel 0,70 kWh / kg
- miljöbelastning exkl. CFC-utsläpp 0,041 ELU/kg
- miljöbelastning med CFC-utsläpp 0.064 ELU/kg

Värdena ger en bakgrund och referens till energiåtgång och miljöbelastning för tillverkning av recyklatet.

5.3 Energiåtervinning

Energiinnehållet i plastfraktionen har inte analyserats men bör vara mycket högt, ca 35 MJ / kg.

Det är mycket högt jämfört kalorivärden runt 13 MJ/kg för den normala blandning av hushållsavfall som kommer till landets avfallsförbränningsanläggningar.

Plasten skapar problem i förbränningsprocessen om det inte fördelas ut i övrigt avfall. Därför måste förbränning av plast kontrolleras och har en kostnad i avfallsförbränning som inte står i proportion till det höga bränslevärdet.

Kostnaden för att lämna plast till avfallsförbränning ligger mellan 400 och 800 kr i Sverige och på samma nivå i Norge.

Ur ekonomisk synpunkt så är energiåtervinning av plastfraktionen idag inget bra alternativ.

Negativa effekter i avfallsförbränning jämfört materialåtervinning är emissioner av koldioxid (växthuseffekten), av sura ämnen och av kvävehaltiga.

I fallet med en ej renad plastfraktion från kylmöbler så blir den potentiella belastningen av sura ämnen (klor) och tungmetaller (koppar) betydande.

Jämfört med materialåtervinning utnyttjas energinnehållet i plasten oftast betydligt sämre i en förbränningsprocess. Energiomvandling har en verkningsgrad.

Positivt är reduktion av avfallsmängd. Vid förbränning bildas aska och slagg.

I en orenad plastfraktion torde dock askhalten bli ganska hög p g a järn och restmetall och mineraliska ämnen i gummi m m. Utgår man från materialbalansen i fig 5 avsnitt 3.1 så borde slagg och aska uppgå till minst 10%.

5.4 Jämförelse med energiåtervinning

I (10) Miljöanpassad produktutveckling finns miljöbelastningsindex summerat för en del plaster och olika händelser.

Sålunda finns för ABS (men inte för PS eller HIPS) index för händelserna tillverkning, återvinning av använd ABS och förbränning med energiåtervinning av ABS, ett värde på summan av resurser som tagits i anspråk och emissioner som uppstått.

Det uttrycks som ELU (environmental load unit) per kg plast.

Vårt recyklat och en ABS är så pass lika att det bör ligga inom felmarginalerna i denna uppskattning att använda värdena nedan för en jämförelse av miljöbelastning.

Tillverkning av ABS	1,49 ELU / kg
Återvinning av produktionsspill ABS	- 1,20 ELU/kg
Återvinning av använd ABS	-0,747 ELU/kg
Förbränning av ABS med energiåtervinning	0.0526 ELU/kg

Av ovanstående värden framgår att en materialåtervinning av ABS såväl av produktionsspill som från en använd produkt har beräknats ge en god miljövinst. Negativa siffror är positiv miljöbelastning.

Materialåtervinningen av ABS minskar resursåtgång av olja och emissioner av främst koldioxid (växthuseffekten) då nyvara substitueras.

Transporter och mer energi för processer gör att produktionsspill ger en högre miljövinst än mostvarande återvinning från en end-of-life produkt.

Om vi substituerar nyvara av ABS med vårt recyklat så skulle miljövinsten per kg recyklat bli:

Miljöbelastning för nyvara som ersätts, $1,49 \text{ ELU} \times 0,75$ (substitutionsfaktorn) = 1.118 ELU / Kg minus miljöbelastning för att tillverka recyklatet 0,041 ELU / kg.

Resultatet blir $0,041 \text{ ELU} - 1.118 \text{ ELU} = - 1,077 \text{ ELU}$.

Samma positiva miljövärde utslaget på 2.000 ton plastfraktion blir - 0,65 ELU.

I värdet för energiåtervinning genom förbränning så är det främst koldioxidvärdet som orsakar en negativ miljöbelastning på 0,0526 ELU.

Jämför vi alltså alternativet materialåtervinning av recyklat med energiåtervinning genom avfallsförbränning får man räknat på plastfraktionen från freonåtervinningen en positiv miljöeffekt för materialåtervinning som är $- 0,65 - 0,0526 = -0,70 \text{ ELU} / \text{kg}$.

5.5 Sammanfattning

- *Deponi är på några års sikt inget hållbart alternativ för plastfraktionen.*
- *Kylskåpsplasten får efter rening av metaller och PVC en sammansättning som inte utgör ett problem för vare sig materialåtervinning eller energiåtervinning med avseende på miljöstörande ämnen.*
- *Substitutionsfaktorn är hög och sandwichutförandet är återvinningsbart.*

- *Materialåtervinning ger den största miljövinsten.*
- *Energiåtervinning genom avfallsförbränning synes ge en liten miljövinst.*
- *Ur miljösynpunkt finns det starka skäl för materialåtervinning av plastfraktionen.*

6. DISKUSSION

6.1 Bedömning av projektresultat

6.1.1 Separering

Torrseparering

Både triboelektrisk torrseparering och våtseparering på bord är tekniker som projektet funnit vara praktiskt möjliga att använda, dock med fördel för våtsepareringen.

Den triboelektriska separeringen är effektivast för separering av två plaster med olika ytladdning t ex PVC och PE.

Det är viktigt att plasten inte är smutsig så att ytladdningar förändras. Fukthalt under processen påverkar ytladdningen.

Partiklarnas form och storlek påverkar avskiljningen. Ett problem är uppenbarligen den tubformade PVC-isoleringen som omgivit kopparkärnan. Dessa tuber vill gärna komma med i acceptet av styrenplast.

Med tanke på de problem som är förenade med en elektrostatisk separering så är det egentligen förvånande att inte bara PVC, utan också såväl gummipartiklar som partiklar av hårdplast kunnat avskiljas i så hög grad som skett i K+S utrustning. Med flera passager skulle också en högre avskiljning av polyolefiner kunnat genomföras. Men varje passage ökar kostnaden och minskar det totala utbytet.

Det försiggår en utveckling på flera håll i världen av triboelektrisk separeringsteknik. Sannolikt kommer tekniken att förfinas och antalet applikationer att öka. Det kan medföra att triboelektrisk separering kan bli ett alternativ eller i en storskalig anläggning som kan bära kapitalkostnaden, ett komplement till annan separeringsteknik.

Våtseparering på bord

Resultatet tyder på att våtseparering ger skarpare separationsgränser mellan tung plast och accept.

Dessutom har relativt få prov gjorts och därför finns ytterligare möjligheter att anpassa våtbordet och förfinas tekniken.

Specifik vikt är en egenskap som påverkas mindre av yttre förhållanden än elektrisk ytladdning.

Men för att separationen skall fungera är det viktigt att plastkornen väts i vattnet - ytspanningsnedsättande medel behövs.

Formen spelar en ganska stor roll. Flata bitar tenderar att flyta på ytan. Och PVC-tuber fyllda med luft flyter förstas bra.

Sammantaget så bör det vara betydligt enklare att utveckla separeringstekniken med våtbord, i synnerhet som arbetet kan bedrivas hos Stena Freonåtervinning.

Övriga tekniker

Våren 1999 har Scandinavian Recycling i Malmö introducerat en ny process utvecklad i samarbete med ett holländskt företag som anses ha möjligheter att separera kylskåpsplast. Vi har skickat ett mindre prov men inte fått svar.

Tekniken har inte avslöjats men torde vara en kombination av våt och torr separering. Tekniker som grundas på identifiering av enstaka bitar är ännu inte utvecklad för små och varierande kornstorlekar.

Men för t ex större fragmenterat gods skulle sådan teknik kunna utgöra ett av flera separationssteg.

Andra våtsepareringsmetoder som använder vätskor med olika densitet t ex saltlösningar blir komplexa och dyrbara oavsett om tankar eller hydrocykloner används för separeringen.

Sverige och Norden är för små regioner för att motivera investeringar i sådana återvinningsanläggningar för enbart kylmöbler. Om volym tillförs från andra områden t ex hushållsapparater och bilkomponenter så kan möjligen förhållandet ändras.

Ökad sortering

PVC-tätning i dörr i kylmöbler utgör ungefär hälften av mängden PVC. Resten finns mest i kablar.

Ett försök utfördes med ca 300 kylmöbler varifrån PVC-tätningen togs bort.

Plasten maldes och renades sedan skilt som en batch och skickades till Tyskland före triboelektrisk separering.

Ingen skillnad i PVC-halt noterades för material med och utan PVC-tätning.

Resultatet är något förvånande. Sannolikt beror det på att PVC från tätningen är lättare att separera ut än PVC i isolering från kabel.

Något motsvarande försök med våtbord har inte gjorts. Men det finns anledning tro att resultatet blir likartat eftersom också våtbordet har mer problem att skilja ifrån PVC som kommer från kabel.

6.1.2 Smältfiltrering

Projektet har visat att smältfiltrering av såväl torrseparerat som våseparerat recyklat kan utföras utan processproblem och med gott resultat.

Smältfiltrering är nödvändigt för att kvalitetssäkra recyklatet och för att det skall klara "normala" plastanvändningar.

Endast för användning i blandplast framställda med enkel process som pressning kan smältfiltrering vara överflödigt.

6.1.3 Kvalitetssäkring och uppgradering

I dagens återvinning i Sverige av kylmöbler finns en blandning av ABS och HIPS som ger mindre bra mekaniska egenskaper speciellt vad gäller slagseghet.

För att få ett användbart recyklat är det lämpligt tillsätta 10-15% av en HIPS, som helst bör komma ifrån ett nedsmutsat produktionsspill som behöver en filtrering och

homogenisering innan användning.

Vi har inte än kunnat bekräfta egenskaperna för ett kontinentalt recyklat från kylmöbler med övervägande HIPS.

Kanske kan en blandning av recyklat från svenska och kontinentala kylmöbler avsevärt förbättra slagsegheten.

För vissa applikationer är det nödvändigt att tillsätta stabilisator.

6.1.4 Applikationer

Siktet måste vara inställt på återanvändning i produkter inom Electrolux med sandwichutförande .

Användning som mittskikt i innerliner är mest intressant men också krävande.

Ett problem som måste tacklas är färgenomslaget. Detta är ett typiskt problem för end-of-life recyklat.

En lösning är att dölja färg och föroreningar genom att tillsätta mer vitt pigment i både recyklat och nyråvara. Det bör vara genomförbart men betyder ökade pigmentkostnader för titanvitt.

En annan lösning är kanske att acceptera genomslag av färg och synliga punktföroreningar och informera kunderna om att en sandwich med återvunnen plast används och ser ut på det sättet!?

Motivet för Electrolux är inte bara återanvändning av gammal plast i nya kylmöbler utan också en kostnadsbesparing genom att utnyttja ett billigare mittskikt.

Med ett pris på ca 3 kr/kg för recyklatet kan en avsevärd kostnadsbesparing göras som kan motivera en investering hos Electrolux i Motala i en extrusionslinje.

Men mycket försök och prov med färdiga kylmöbler lär återstå innan ett eventuellt beslut från Electrolux kan komma om godkännande av en sandwichkonstruktion för nya kylmöbler.

Åldring i olika avseenden och under olika förhållanden måste givetvis testas.

Andra applikationer utanför Electrolux är enbart av sekundärt intresse. Men de kan medföra att kostnad kan fördelas och ekonomin förbättras.

6.1.5 Framställning och kostnad

Genomförd kostnads kalkyl gäller för det svenska exemplet med Stena i Halmstad och Meltic i Lanna som framställare av recyklatet.

Förusättningarna för just dessa företag är speciellt gynnsamma p g a de utrustningar som finns installerade och infrastrukturen.

Men arbetet kan utföras på alternativa platser.

I den mån företag för kabelgranulering har installerat våtbord skulle ett sådant företag med tillräcklig kapacitet kunna utföra det jobb som är tänkt att göra i Halmstad.

Meltic själv kan tänkas ta hand om hela framställningen utgående från plastfraktionen som skickas från Halmstad och andra håll, men måste då investera i ett våtbord.

Den mest logiska lösningen är att Stena som stor återvinnare av kylmöbler där plastfraktionen faller åtar sig jobbet att rena densamma, i synnerhet då en del av resultatet är metaller, och sedan överlåter till en plaståtervinnare att ta hand om det plastbearbetande steget till färdigt recyklat med marknadskontakt till användaren.

6.1.6 Miljöaspekter

Bedömningen som gjorts i avsnitt 6 visar att materialåtervinning ger en stor miljövinst jämfört förbränning med energiåtervinning.

En jämförelse mellan energiåtervinning och deponering har inte utförts. Om EPS-modellen används så gäller för ABS att miljöbelastningsindex för förbränning med energiåtervinning av använd ABS är 0,0526 ELU/kg medan en kontrollerad deponering av samma ABS ger en miljöbelastning på blott 0,0000825 ELU/kg.

Det skulle alltså trots det höga energivärdet i ABS-plasten vara bättre ur miljösynpunkt att deponera än förbränna med energiutvinning.

Först kan man undra varför miljöbelastningen för deponering är så lågt värderad. Det stämmer knappast med dagens filosofi att deponering av organiska material skall upphöra.

Värderingen av förbränningens miljöbelastning beror på att främst koldioxidutsläppet i förbränningen ger en mycket hög miljöbelastning. Detta förefaller tveksamt. Och beror väl på vilket bränsle som ersätts.

Om ABS-plasten används i stället för ett fastbränsle t ex kol så skulle motsvarande mängd fossilt bränsle ha sparats och någon extra miljöbelastning p g a miljöbelastningen knappast uppstå.

Man måste alltså konstatera att kvantitativa beräkningar av miljöbelastning är svåra att utföra. Resultatet måste användas försiktigt.

Det alternativ för energiåtervinning som använts är avfallsförbränning. Det är f n det enda alternativ som vi anser står till buds. Ur såväl energiutnyttjningssynpunkt som kostnadssynpunkt så vore en fastbränslepanna mycket bättre.

Vi känner f n inte till någon anläggning för fastbränsle i Sverige som utnyttjar biobränsle eller kol och kan klara att ta hand om ett plastgranulat frånsett ScanCems cementugn i Skövde. Rårecyklatet klarar ScanCems krav på max 1% klor och skulle kunna användas där för att substituera kol. Men även i det fallet tar man ut ett pris som sannolikt överstiger 500 kr/ton.

Den del av bedömningen som gäller energiinsats och därmed sammanhängande miljöbelastning är lättare att uppskatta objektivt.

Den visar att materialåtervinningen av kylmöblerna och plasten inte orsakar särskilt stora miljöbelastningar.

Rårecyklatets calorivärde har uppskattas till ca 10 kWh/kg. Vid avfallsförbränning med en energiåtervinning och energiomvandling till el och ånga kommer kanske 50% av detta värde att slutligen utnyttjas.

Om materialåtervinning sker så sparas nästan hela calorivärdet. Energiåtgången för materialåtervinningen är ca 0,7 kWh/kg. Alltså ganska liten i jämförelse med hela energiinnehållet.

Det bör därför ur energisynpunkt vara vettigt att materialåtervinna i första hand och längre fram kanske energiåtervinna.

6.2 Kylmöbler som referensobjekt

6.2.1 Andra EOL-produkter

Såsom nämnts i avsnitt 2 så ställs krav på ökad återvinning av material från bilar, elektriska och elektroniska produkter.

Kylmöbler, som under flera år nu har tagits om hand för sig och upparbetas separat föranlett av kravet på CFC-utvinning, kan därför ge viss vägledning om hur materialåtervinning kan utökas till att omfatta plaståtervinning även för andra EOL-produkter.

Bilar

Stena Bilfragmentering har deltagit 1994-1997 i projektet ECRIS (Ecological Car Recycling in Scandinavia) med Gotthards och Volvo i vilket bl a plaståtervinning från bilar var ett delprogram.

Olika plastdetaljer demonterades och försök med återvinning av rena plaster genomfördes. Hög kostnad och tveksam kvalitet var återkommande problem som tillsammans med små volymer medfört att projektet inte resulterat i något exempel på plaståtervinning.

Bilfabrikanterna som säljer på Europamarknaden ställer krav på underleverantörer av detaljer där plaståtervinning kan vara aktuell att blanda in recyklat i detaljen och tillåter det i materialepecifikationen. Men där inblandning förekommer torde det hittills vara mest produktionsspill hos underleverantören som sätts in.

I en seminarium i Tyskland i februari 1999 "Verwertung von Kunststoffen aus dem Altauto" (13) konstaterades att det trots många projekt och initiativ egentligen inte kommit igång någon kommersiellt fungerande plaståtervinning av någon enda detalj frånsett batterilådor av PP och att man knappast såg några möjligheter att med materialåtervinning klara EU-kraven.

Förhoppningen stod till energiåtervinning av fragmenteringsavfallet vad gäller dagens bilpark.

För morgondagens bilar fanns förhoppningar om men ingen säkerhet för återanvändning av plast från större komponenter.

Det enda land i Europa som idag synes återvinna en del plast från bilar och även återanvänder detta i bilar är Italien enligt uppgift från Fiat (14).

Återanvändning sker efter "kaskadprincipen" som innebär att t ex PP i en stötfångare återanvänds som hjulkapslar som har lägre kvalitetskrav.

Bruna varor och IT

Elektriska och elektroniska produkter som de definieras i aktuella EU-förslag omfattar "vita varor" som består av större och mindre hushållsapparater och "bruna varor" eller underhållningselektronik som består av TV, video, stereo m m i hemmen samt datorer med IT-utrustning från kontor.

Traditionellt har sedan början av 80-talet större vitvaror fragmenterats tillsammans med annat komplext skrot medan bruna varor och elektronik deponerats eller för produkter med högt metallvärde upparbetats i speciella anläggningar.

Under 90-talet har i norra Europa inkluderat Sverige uttjänt elektronik börjat saneras och återvinnas genom demonteringsföretag. Återvinning av olika ingående material inklusive plasten är fortfarande ett område stort i utveckling.

Stena Technoworld som var först i Sverige med en miljöinriktad elektronikdemontering har sedan starten 1993 lagt ned mycket arbete på att källsortera, separera och mala fraktioner av olika plaster som ingår i elektronikprodukter.

Plasterna har delats upp i sådana som innehåller bromerade flamskyddsmedel vilket utgör den största volymen och sådana som inte gör det.

Höljen till datorer och TV-apparater som svarar för en stor del av plastinnehållet i elektroniken innehåller oftast bromerade flamskyddsmedel.

En del av de bromerade flamskyddsmedlen klassas som miljöfarliga i Sverige.

Plaster som innehåller bromerade flamskyddsmedel bör därför inte materialåtervinnas såvida inte de inte återanvänds i originalanvändningen som kräver flamskydd.

I Sverige förekommer praktiskt taget inte någon tillverkning av sådana plastdetaljer och en återanvändning i Sverige är inte aktuell.

Plast med bromerat flamskyddsmedel energiåtervinns i stället genom avfallsförbränning med annat avfall varvid flamskyddsmedlet förhoppningsvis destrueras utan omvandling till andra miljöskadliga ämnen som tex bromerade dioxiner.

Trots att Stena Technoworld med en produktion på ca 3.000 årston är störst i Sverige så är återvinningsbara mängder av plast så små att de är svåra att finna en marknad för.

Plasterna utgörs av ABS, HIPS, PC, PP, PVC m fl. Antalet kvaliteter och färger är flera. Det gör att årsmängd av en specifik plast vanligen inte uppgår till 10 ton.

Dessutom förekommer oftast föroreningar i form av etiketter, färg och skruvar m m som försvårar användningen.

Stena Bilfragmentering och Stena Technoworld har under 90-talet följt utvecklingen på området.

Elektronikåtervinnare i Tyskland har på den mycket större marknaden betydligt bättre möjlighet till avsättning av rena utsorterade plaster och kan förmodligen finna köpare för större volymer.

Avfallsförbränning är annars den vanligaste vägen för plastavfallet också i Tyskland.

Vita varor

Vita varor fränsett kylmöbler utgör en stor del av det s k kommunskrotet.

Kommunerna har ansvaret för att det insamlas tillsammans med andra grovsopor eller

lämnas på återvinningsstationer.

Skrotet som slängs i container på återvinningsstationen går ofta direkt till fragmentering. En stor del kommer till en återvinningscentral där det eventuellt sorteras och sedan kompakteras till paket innan det transporteras till fragmentering.

Erfarenheterna från plaståtervinning av vitvaror är begränsade.

Plaster som återfinns i tvättmaskiner, diskmaskiner, torkmaskiner, spisar, mikrovågsugnar, kaffebryggare, mixers, dammsugare m m är av flera slag och kvaliteter.

Formsprutningskvaliteter av PP, HDPE, ABS och HIPS torde utgöra en större del av plastinnehållet i vita varor.

PP förekommer ofta förstärkt med ett oorganiskt fyllnadsmedel som krita eller kaolin. Fiberförstärkt plast finns också.

Användningen av flamskyddsmedel torde förekomma men är begränsad till apparater med höga krav på flamskydd t ex ugnsläktar och brödrostar. Troligen används i så krävande applikationer plast som tål hög temperatur och brinner dåligt tex polysulfonplast.

I SPIKA-projektet i Sverige där bl a Gotthards och Rondoplast och Polykemi deltog och som omfattade plaståtervinning från hushållsapparater fastslogs att svårigheterna att samla in källsorterade plaster från apparaterna var betydande, mängderna blev mycket små och återvinningen dyrbar.

Huruvida det i något europeiskt land återvinns kommersiellt plast från uttjänta vitvaror är inte bekant men föga troligt, då kostnaderna för en sådan utvinning normalt sett bör överstiga intäkten.

6.2.2 Dagens återvinning av elektronik och vitvaror

Elektronik saneras och demonteras innan restfraktioner eventuellt går till fragmentering. Av ca 3.000 ton uttjänt elektronik som behandlas av Stena Technoworld går ca 1.000 ton vidare till fragmentering och metallutvinning. Från detta material utvinns ca 80% järn och metaller och resten blir ett avfall.

Plastinnehållet i avfallet är högt men mycket blandat med olika ämnen och inte ägnat åt plaståtervinning.

Vitvaror i Sverige utgör minst 1/3 av kommunskrotet som uppgår till över 200.000 årston.

Vitvarorna inkluderat alla andra elektriska apparater från hemmen kan uppskattas till ca 75.000 årston vartill skall läggas kylmöbler på ca 15.000 ton alltså 90.000 ton.

Återvinningsgraden från vitvaror utgör idag ca 75%.

Av järn och metaller uttas alltså ca $0,75 \times 90.000$ årston = 67.500 ton.

Idag blandas vitvaror med annat komplext skrot och ger upphov till ett avfall som utgör ca 25% av 90.000 ton eller 22.500 ton.

Avfallet består av plast, elastomerer, glas, betong, fiber m m men också förluster av järn och andra metaller.

I det pågående LIFE-projektet Återvinning av Shredderavfall söker vi minska förlusterna av järn och metaller samt göra om en del av avfallet så att det kan energiåtervinnas.

Om det lyckas så innebär det att materialåtervinningen av stål och metaller ökar från ca 70 till 71,5% och att 1/3 av avfallet eller ca 8 % av input kan gå till energiåtervinning. Därmed skulle material- och energiåtervinning från vitvaror och annat komplext skrot öka från ca 75% till ca 85%.

Krav i förslag till EU-direktiv är 90% för stora och 70% för små apparater.

Återvinningsbar plast från kylmöbler är ca 7% av vikten som är ca 51 kg per kylmöbel. Om samma faktor nyttjas för övriga vitvaror så skulle det finnas $0,07 \times 75.000 \text{ ton} = 5,250 \text{ ton}$ plast som är återvinningsbar. I det blandade avfallet på 18.750 ton från 75.000 ton vitvaror skulle alltså kunna finnas 5,250 ton eller 28% återvinningsbar plast.

Plasterna fördelas i det lätta avfallet efter fragmentering och i den icke-magnetiska metallfraktionen. Den första går direkt till deponi, den andra upparbetas på metaller varvid förekommande plast avskiljs och deponeras.

Det lätta avfallet från fragmentering faller i Sverige på fem platser: Halmstad, Malmö, Hallstahammar, Huddinge och Göteborg och utgör över 100.000 årston.

Metallupparbetningen inom Stena Gotthard Fragmentering kommer i huvudsak att ske i Halmstad i en sink-float process. Där kommer att falla ca 25.000 ton avfall i vilket plast utgör en väsentlig del.

Vi vet inte idag hur stor del av återvinningsbar plast som finns i det lätta avfallet respektive det tunga som kommer från sink-floatanläggningen.

6.2.3 Morgondagens återvinning av vitvaror

Separat behandling?

I Norge har man från 1 juli 1999 startat separat insamling av vitvaror genom producentbolaget Vhitvareretur A/S.

Entreprenörer har utsetts som skall sanera och återvinna vitvaror. Liknande producentbolag har bildats för elektronik respektive elektriska industriprodukter (Renas A/S).

Styckehantering i stället för bulkhantering av vitvaruskrotet samt genomgång innan fragmentering innebär en väsentligt ökad kostnad för återvinningen.

I Danmark skall från 1 december 1999 en liknande separat behandling göras av vitvaror men genom kommunernas försorg.

I Sverige kommer förordningen som skall reglera framtida behandling av vitvaror och annat s k E+E avfall först att bli klar om något år.

Fragmenteringsbranschen i Sverige testar f n separat fragmentering av elektronikskrot och visst elektroskrot m m, men har inte tagit ställning till och avvaktar myndigheternas föreskrifter om hur vitvaror skall behandlas.

Mycket talar för att separat fragmentering kommer att bli praxis för elektroskrot men troligen inte för vitvaruskrot.

6.2.4 Tekniken shred first - sort after

Grundkonceptet för all återvinning och i synnerhet plaståtervinning anses vara källsortering av materialen i rena fraktioner innan bearbetning. Det kan uttryckas som "sort first - shred after".

Men källsortering har visat sig bli dyrt, speciellt för komplexa produkter. Motsatsen till källsortering är "shred first - sort after".

Detta är konceptet för fragmenteringindustrin.

Stora hammarkvarnar åstadkommer en mycket effektiv sönderdelning till låg kostnad och med låg energiinsats av det allra mesta av dagens komplexa skrot. Undantag är wire och kabel och mjuka produkter som inte erbjuder hammarna motstånd.

En hammarkvarn har en kapacitet på ca 100 ton skrotråvara per timme. Storskalig logistik med kompaktering av skrotråvara ger billigare transporter.

Fragmenteringsbranschen betalar vid normala priser på järn och metaller ca 500 kr/ton för kommundskrot och återvinningskostnaden inklusive transporter är av samma storlek.

Återvinningskostnad för elektronikskrot som hanteras styckevis överskrider 5.000 kr per ton.

Ändå demonteras inte en del produkter och speciellt mindre apparater som inte kräver sanering.

I en holländsk studie utförd av TNO tillsammans med Philips 1997 (15) konstateras att demontering och sortering av material från elektronikprodukter som väger mindre än 10 kg blir dyrbart och att inriktningen för design av sådana apparater bör vara för "materialåtervinning genom shredding" och inte genom demontering.

En framtida styckevis behandling av vitvaror kommer att få en kostnad som sannolikt överstiger 2.000 kr/ton.

Insamling och sortering av plastförpackningar inom DSD-systemet kostar idag i Tyskland ca 1.400 DEM /ton och hela återvinningen ca 2.000 DEM/ton. Man strävar efter att nå en kostnad på totalt ca 1.400 DEM ton (7).

Kostnad för återvinning av förpackningsplasten omfattande insamling, transport och återvinning blir 2-3 ggr högre än priset för ny plast (PE).

DSD-systemets avgifter för plast ligger idag mellan 3.000 och 6.000 DEM/ton beroende på plastprodukt.

I Sverige är kostnaden på plastförpackningar betydligt lägre men insamling och transport utgör en stor del av kostnaden.

Några motsvarande uppgifter för konstruktionsplaster i bilar och vitvaror finns inte . Men man kan räkna med kostnader av samma storlek.

I (16) redovisas en studie gjord av PRAVDA på återvinning av bränsletankar i bilar och olika slag av återvinning som gav följande resultat:

	<u>materialåtervinning</u>		<u>råvaruåtervinning</u>		<u>energiåtervinning</u>	
	Solvay	BASF	Parak	SVZ	Cement- ugn	Kupol- ugn
Demontering DM/ton	1100	1100	1100	1100	1100	1100
Transport DM/ton	200	200	200	200	200	200
Förmalning DM/Ton	-	-	150	50	150	150
Återvinning DM/ton	1018	1035	195	250	0	0
Summa	2318	2335	1645	1600	1450	1450
- Intäkt DM/ton	1020	765				
Summa	1298	1570				

Först kan konstateras att demontering och transport samt förmalning kostar 1300 till 1450 DEM /ton av bränsletankarna.

I fragmenteringsindustrin omhändertas och sönderdelas bränsletankar till en bråkdel av kostnaden ovan men då blir förstas plasten blandad med annat avfall.

Rekommendationen från studien blev också att lämna kvar bränsletankarna i bilarna och söka energiåtervinna fragmenteringsavfallet..

Materialåtervinning är i praktiken inte möjligt till kostnaden 1298-1570 DEM/ton eftersom det inte finns någon marknad för detta HDPE-recyklat!

I Sverige skulle även energiåtervinning i cementugn kosta ca 100 DEM/ton , varför det i praktiken inte är någon skillnad på råvaruåtervinning och energiåtervinning.

PARAK är ett slags pyrolysförfarande som utgår från polyolefinrika plastavfall och ur detta framställer ny plastråvara som en flytande paraffinliknande produkt.

SVZ (Schwarze Pumpe GmbH) framställer syntetgas med fastbäddsförgasning i skakt.

Den senare metoden har också provats på siktat fragmenteringsavfall med gott resultat. Behandlingspriset 250 DEM/ton får anses vara ganska högt för fragmenteringsavfall.

Fragmenteringsindustrin har redan det samlade plastavfallet från bilar och vitvaror i sitt eget avfall. Insamlat, transporterat och grovmalt utan extra kostnad.

Grundförutsättningarna för en storskalig och kostnadseffektiv upparbetning av avfallet med sikte på återvinning av material, råvara eller energi är alltså goda.

Frågan är hur långt återvinningen kan drivas.

6.2.5 Plaståtervinning ur shredderavfallet

I LIFE-projektet prioriteras energiåtervinning som måste vara det mest praktiska och näraliggande.

En råvaruåtervinning baserad på pyrolysförfaranden är också ett alternativ som granskas inom ramen för LIFE-projektet.

Pyrolys- och förgasningsteknik tillåter vanligen ett ganska inhomogent avfall med inslag av tungmetall, halogen m m.

Andra metoder som cracking och hydrering med katalysatorer inblandade i processen kräver förmodligen ett renare material än fragmenteringsavfall.

Plasten utgör en väsentlig och viktig del i avfallet p g a det höga energivärdet.

Alternativet materialåtervinning är tekniskt det svåraste.

Sink-floatanläggningen i Halmstad framställer två avfallströmmar som är rika på plast och elastomer.

Ur dessa skulle det antagligen vara möjligt att separera ut vissa specifika plastsorter baserade på identifieringsteknik med röntgen eller annan analysmetod.

Även en utsortering i plastfamiljer med hjälp av densitet i polyolefiner respektive styrenplaster är kanske möjlig.

Men det är knappast troligt att en så väl definerad recyklatkvalitet kan åstadkommas att plasten kan återanvändas.

En utsortering av fraktioner, eller oönskade plaster som PVC, kan däremot behövas för att klara en specifikation för en viss råvaruåtervinningsmetod.

Projekt pågår i Belgien/Frankrike med ett företag kallat Gallo som söker genom sink-float metod utvinna plaster. Företaget arbetar med metallåtervinning och har en anläggning liknande den som finns hos Stena Bilfragmentering i Halmstad.

Renault driver i Frankrike ett projekt (17) för att ur fragmenteringsavfallet ta bort PVC så att det klarar max 1% klor och kan skickas till franska cementugnar.

6.2.6 Plaståtervinning genom separat behandling

För att klara en utsortering och rening av specifika plaster så behöver skrot råvaran som kommer in till fragmentering delas upp och fragmenteras batchvis.

Sker detta för t ex vitvaror enbart eller enbart stora apparater så ökar möjligheterna att sortera ut plast för materialåtervinning.

Om enbart en viss apparat eller komponent tas och fragmenteras / mals separat på samma sätt som kylmöblerna hanteras, så ökar möjligheterna ännu mer.

Men samtidigt ökar kostnaderna och fördelen med storskaligheten minskar.

Huruvida det finns inom vitvaruområdet en grupp eller enstaka apparater som skulle kunna utskiljas i avsikt att särbehandlas för plaståtervinnings skull är inte bekant.

Det kanske mest kända exemplet på plaståtervinning från en EOL-produkt är PVC-fönster.

I Tyskland har Veka AG, världsledande tillverkare av PVC-fönster investerat närmare 200 milj kr i en anläggning med kapacitet att ta hand om 20.000 ton fönster.

Recyklat framställs utifrån inlevererade hela fönster med ramar, glas och murbruk för användning i nya PVC-fönster (18).

Processen utnyttjar avancerad storskalig teknik för separering av metall, glas, stoff m m och kan t o m skilja på vit och färgad PVC.

Återvinningen är ett bra exempel på shred first - sort after! Det är också en av mycket få lönsamma återvinningsprojekt av en EOL-produkt. Lönsamheten förutsätter dock att deponiavgiften för PVC i Tyskland håller en viss nivå.

Exempel stötfångare

På bilsidan är förmodligen stötfångare det enda intressanta exemplet på en ekonomiskt möjlig plaståtervinning.

Dagens stötfångare består i huvudsak av PP/EPDM och har blivit ganska lika i alla bilar. En komplikation är att stötfångare numera alltid lackeras. Lackrester i recykratet ställer till med ytproblem och måste bort om recykratet skall återanvändas i nya stötfångare.

En rad projekt har genomförts med återvinning i Europa och teknik finns för att ta bort lacket både kemiskt och mekaniskt.

Men återvinningen har inte tagit fart p g a de höga kostnaderna för att framställa recyklat.

Hydro Raufoss Automotive Plastics i Norge m fl platser är en stor tillverkare av stötfångare. I Norge tillverkas både aluminiumprofilen som bär upp konstruktionen och plasthöljet som sitter utvändigt.

En modern stötfångare väger ca 10 kg varav aluminium väger ca 5 kg, slagfast PP i höljet utgör ca 4,5 kg och andra plastdetaljer invändigt som består av ren PP väger några hekto. Därutöver finns fästen av stål och gummidetaljer kan också förekomma.

Raufoss uppmanas av Volvo att utveckla återanvändning av recyklat. Man återanvänder f n eget produktionsspill som är olackerat och kommer att använda lackerat i ej synliga detaljer.

Raufoss deltar i VAMP 14 och utvärderar sandwichteknikens möjligheter.

Stötfångare skulle kunna demonteras av bildemonterarna och transporteras för sig i container tillsammans med bilkarosserna till exv Stena Gotthard Fragmentering i Malmö.

Där skulle stötfångarna separatfragmenteras och plasten skiljas till allra största delen från metallerna.

Plastfraktionen kunde samlas upp och sedan undergå en rening motsvarande kylskåpsplasten i Halmstad. Eftersom plasten har en enklare sammansättning kan möjligen processen förenklas.

Ett alternativ som kan vara intressant är malning med turboseparator. Därigenom skulle antagligen en stor del av lacket försvinna och möjligen ett för smältfiltrering tillräckligt bra granulat erhållas direkt.

En volym i Sverige baserad på 100.000 bilar som har 2 stötfångare var ger:

- totalt 10 kg x 200.000 = 2.000 ton
- plast 5 kg x 200.000 = 1.000 ton
- aluminium x 200.000 = 1.000 ton

Kvantiteten är av ungefär samma storlek som kylskåpsplasten.

6.3 Hinder för plaståtervinning

Trots att plaståtervinning framstått som ett önskemål från samhällets och människornas sida och ämnet har stötts och blötts i över ett decennium så har resultatet blivit ganska klent.

Visserligen har med myndighetstvång system för återvinning av förpackningar startats och återvunna mängder där ökat men till betydande kostnader för konsumenten.

Ett positivt resultat är dock att volymen av plastförpackningar i Europa minskat med 28% under 90-talet enligt APME. (19)

Med förslagen till EU-direktiv för bilar och E + E avfall blir krav på ökad plaståtervinning snart en realitet för många andra producenter.

För andra end-of-life produkter har plaståtervinningen hittills varit minimal. Egentligen är det endast PVC-industrin som igångsatt ett antal mer eller mindre framgångsrika återvinningsprojekt. Det beror på att man känner sin existens hotad om man inte kan visa att PVC går att återvinna.

Seminarier och work shops har på sistone haft temat "hinder för plaståtervinning" bl a R'99 i Geneve i februari 1999 (20).

Där fastslogs att pris och kvalitet nog var de viktigaste hindren för att plaståtervinningen skulle ta fart.

Ett annat hinder som framfördes från svensk sida var de stora marknadsaktörernas brist på intresse för saken vilket dock förnekades av en stor spansk polymertillverkare som fanns på plats.

Ytterligare ett och ibland berättigat hinder kan vara miljökonsekvenser av plaståtervinningen.

6.3.1 Pris

En hög kostnad för materialåtervinning av en viss plast i jämförelse med priset för nyvara av samma plast indikerar att materialåtervinning inte är rätt alternativ. Hög kostnad innebär som regel högt utnyttjande av resurser och då kan inte materialåtervinning vara försvarsbart ur resurs- och miljösynpunkt.

När som i Tyskland det kostar 3 ggr mer att framställa en plastpåse av återvunnen PE än av ny PE är något fel. Det har länge påpekats från många håll i Tyskland och nu är det ett etablerat faktum att kostnaden för återvinningen måste ned om materialåtervinningen i nuvarande omfattning skall kunna fortsätta.

Å andra sidan måste det bli ett accepterat faktum att återvinning faktiskt kostar. Det är en vanlig uppfattning hos myndigheter, den del av industrin som inte har erfarenhet av återvinning och på många andra håll att återvinning automatiskt leder till lägre kostnader för en produkt.

Så är det givetvis inte alltid. Önskar samhället eller kunden en återvinning som kräver mycket resurser som t ex materialåtervinning av plastförpackningar så måste man vara beredd att betala för merkostnaden.

Men en riktlinje för god materialåtervinning bör vara att recyklatet kostar mindre att framställa än nyvaran.

6.3.2 Kvalitet

Det saknas i stor utsträckning specifikationer och kvalitetsgarantier för recyklat. De behövs och är en förutsättning för en bredare användning.

Användarna av plast måste å sin sida i sina materialspecifikationer ge mer svängrum för användning av recyklat utan att för den skull kvalitet och funktion för produkten äventyras.

6.3.3 Miljöaspekter

Materialåtervinning måste jämföras med andra alternativ och deras miljöfördelar. Det finns många exempel på direkt olämplig återanvändning av plaster.

Användning av blandplast som ersättning för trä och betong är applikationer som kräver noggrant övervägande.

Blandplast av polyolefiner och PVC, som är sammansättningen i plastavfall från kabelgranulering, används i trafikprodukter och på andra ställen.

När dessa produkter kasseras i framtiden kan återvinningen bli ett större problem än det var förra gången.

Bromerade flamskyddsmedel i elektronikplast är ett annat exempel på inblandning som kan leda till en icke önskvärd plaståtervinning.

6.3.4 Aktörerna

Aktörerna på plastmarknaden och deras inställning till plaståtervinning är naturligtvis mycket väsentlig.

Med få undantag kan nog konstaterats att mycket få aktörer i plastbranschen har något intresse av en ökad plaståtervinning som den bedrivs idag.

Det gäller i stort sett alla de stora företagen som tillverkar polymerer och inte önskar se en minskning av volymer p g a återvinning och plastbearbetarna som ser recyklat som en onödig komplikation som ställer till med kvalitetsproblem utan tillräcklig kostnadskompensation.

En officiellt välvillig inställning från polymerfabrikanter och plastbearbetarna och deras organisationer för återvinningssträvanden kan inte helt dölja ett visst motstånd i praktisk handling.

Detta är sannolikt det mest betydelsefulla hindret. Det bästa sättet att riva hindret bör vara att polymerfabrikanterna aktivt stödjer en storskalig råvaruåtervinning i vilken de själva svarar för en stor del av förädlingsvärdet som kommer att uppstå.

På så sätt skapas också ett kretslopp inom plastindustrin där nya kvalitetsäkrade och för olika ändamål specificerade "återvinningskvaliteter" kan framställas baserad på gammal plast.

Plastbearbetarna kan från sina vanliga kända leverantörer som BASF, DuPont och Borealis också erhålla recyklat. Det borde underlätta användningen.

Polymerindustrin sätter själv pris på polymerer och har medel och makt att bestämma prisutvecklingen för plast baserad på olika råvaror.

Därmed kan i viss mån också det nuvarande dilemman med recyklats prisberoende av nyvaran undvikas.

Slutligen är det förstås viktigt att slutkunden av recyklats som producerar bilen eller mikrovågsugnen ställer krav på att recyklat skall ingå i plasten.

6.3.5 Shred first and sort after

Storskalig plaståtervinning från komplexa produkter behövs sannolikt för att återvinning av konstruktionsplaster skall få en rimlig omfattning.

Vägarna

En plaståtervinning som siktar på *materialåtervinning* från klart definierade EOL-produkter som kylmöbler och stötfångare och kanske grupper av produkter som stora hushållsapparater (tvätt, disk, tork) genom separat fragmentering har förutsättningar att klara pris och kvalitet på recyklat med rimlig resursinsats.

För aktörerna bör en sådan modell vara intressant då alla kan involveras.

En plaståtervinning som siktar på *råvaruåtervinning* från en större samling komplexa produkter t ex bilar blir tekniskt mer komplicerad men bör med hjälp av den snabba utvecklingen på identifiering och sortering inte ligga långt borta.

Då skulle mängden konstruktionsplast som går i kretslopp från fragmenteringsindustrin till petroleumindustrin eller andra leverantörer av råvara till polymerindustrin öka väsentligt.

Koppling till produktutveckling

Fundamenta för återvinning har historiskt varit källsortering och småskalighet. Men samhällets växande flora av produkter med ökande komplexitet försvårar

källsorteringen.

Endast en expert kan idag skilja på en rad olika förpackningar försedda med kombinationer av papper, plast i flera skikt och ofta metalliserade.

En modern bil skall monteras ihop på under 20 minuter i den rationella bilfabriken. Hur är det då möjligt att starta demontering i form av "baklängesproduktion" av bildelar som tar flera timmar per bil?

Återvinningsindustrin utvecklas snabbt och finner tekniska lösningar på identifiering och sortering och återvinning.

Med den tilltagande insikten att källsortering och demontering är kostbart och svårt att förena med samhällets utveckling i övrigt kommer alternativet "shred first and sort after" att aktualiseras.

Miljöfundamentalism kommer säkert att bli ett hinder för storskalig återvinning.

Ett viktigt argument som framförs och talar för återvinning av enstaka produkter via demontering är återföring av kunskap till design och utveckling av nya produkter.

Konstruktion för återvinning är givetvis mycket viktigt. Men kriterier för återvinningsbarhet behöver inte nödvändigtvis utformas för att underlätta en demontering utan kan lika gärna utformas för att underlätta en storskalig återvinning genom fragmentering.

Det bör vara fullt möjligt att utforma mer generella regler för vissa produkter, t ex vitvaror eller små elektroniska apparater under 10 kg.

Det är en rekommendation i studien som TNO genomfört (15).

I många avseenden, såsom användning av miljöfarliga ämnen t ex kadmium i produkter är kriterierna för konstruktion lika oavsett om de gäller för demontering eller shredding.

En god kontakt mellan återvinnare och producenterna av vitvaror och bilar m m är oavsett återvinningsmodell mycket väsentlig.

7. VISION 2005

Fragmenteringsindustrin är i 2000-talets första decennium en snabbt växande del av återvinningsindustrin.

Mängden komplexa produkter i samhället stiger stadigt och behovet av att till rimlig kostnad återvinna materialen i dessa har ökat.

Återvinningen av kylmöbler i Sverige har kompletterats med en återvinning av plastrecyklat som återanvänds som sandwich i nya Elektroluxskåp. En liknande men större anläggning har nyligen tagits i drift i Italien.

Separat fragmentering av hushållsapparater har påbörjats och försök med materialåtervinning av plastfamiljerna polyolefiner och styrenplaster i stor skala pågår.

I ett projekt tillsammans med Borealis, Electrolux, Volvo m fl körs försök i sink-float anläggning med utsortering av polymerfraktion att använda som råvara i crackinganläggning.

Idén är att kretsloppet för polymerer kommer att bli likt det som idag finns för järn och metaller:

” Fragmenterat järnskrot framställt ur gamla bilar går till elektrostålverk, som därav gör ett kvalitetsäkrat stål som kan användas av den bearbetande industrin för att göra plåt eller balk till nya bilar.

På samma sätt skulle fragmenterad plast framställt ur gamla bilar kunna gå till en crackinganläggning som omformar kolvätemolekylerna till en lämplig och kvalitetsäkrad råvara för polymertillverkaren som därav gör ny plast och säljer till plastbearbetaren för att slutligen bli bränsletankar eller stötfångare i nya bilar.”

8. REFERENSER

- (1) Proposal for a directive on waste from cars
- (2) Proposal for a directive on waste from electrical and electronic equipment
- (3) Förslag till Generella föreskrifter för bildemonteringsverksamhet 1999, Naturvårdsverket på remiss.
- (4) Återvinning av shredderavfall, Stena Gotthard Fragmentering AB och Volvo Car, 1998 LIFE Environment (<http://europa.eu.int/comm/life/home.htm>)
- (5) Återvinning av plast från hushållsprodukter, Staffan Ericsson Electrolux Research and innovation, 1995 -1996 bestående av delarna:
 - Karakterisering av plast
 - Inverkan av PUR-partiklar
 - Bestämning av mängd PUR i ABS och HIPS
 - Separationsmetoder
 - Användning av återvunnen plast
 - Teknisk-ekonomisk utvärdering
- (6) A study of the turboseparator and its ability to separate polymers from complex products, Nicolas Mouillé , Electrolux Research & Innovation, 19981123.
- (7) Kunststoff kann man wiederverwerten, Verband Kunststoffherzeugende Industrie e.V., aug 1998:
 - Teil 1 werkstoffliche, rohstoffliche und energetische Verwertungswege
 - Teil 2 Ökologie und Ökonomie der Kunststoffverwertung
- (8) Life-Cycle Analysis of Recycling and Recovery of Households Plastics Waste Packaging Materials
- (9) Life-Cycle Analysis of the Mechanical Recycling of the Mixed Plastics Fraction from the Collection of the Duales System Deutschland GmbH
- (10) Mijöanpassad Produktutveckling, S.O Ryding m fl, Industriförbundet 1996
- (11) Lakförsök på restprodukt av hackat kabelskrot, Tom Lundgren, Terratema 1989 (del av projekt Återvinning av kabelplast för Nordisk kabelindustri 1987-1990, Rolf Neuendorff.)
- (12) Studie av dioxinbildning vid deponibränder, Miljökonsulterna 1991.
- (13) Verwertung von Kunststoffen aus dem Altauto, Sueddeutsches Kunststoffzentrum 11-12 febr. 1999.
- (14) Paper at Identiplast Conference Brussels 26-28 April 1999 in Brussels;
The Fiat Experience in identifying and separating plastics from cars in the FARE project, Rosanna Serra.
- (15) Design for non dismantling of electronics, TNO Appeldoorn and Philips Eindhoven 1997.
- (16) Verwertung von Kunststoffen aus dem Altauto, Sueddeutsches Kunststoffzentrum 11-12 febr. 1999. Paper Dr M. Christill Frankfurt.
- (17) Paper at Identiplast Conference Brussels 26-28 April 1999 in Brussels; Plastic sorting technologies: recent developments for the separation of mixture of plastics, Dr Gilles Sciberras Renault S.A.
- (18) Paper at Identiplast Conference Brussels 26-28 April 1999 in Brussels; Integrated plastics identification, separation and sorting: the proven VEKA-koncept for windows recycling
- (19) Återvinningen nr 5, 1999.
- (20) R´99 Geneve 2-5 februari 1999 i Geneve. Recovery, Recycling, Re-intergration. Work shop Plastic Recycling: Removing Roadblocks, Dr Anis Barrage.

9. BILAGOR

1. Processchema freonåtervinning kylmöbler
2. Material i kylmöbel
- 3/4. Provkörning grovmalning
- 3/4. Provkörning finmalning
5. Princip triboelektrisk separering
6. Försöksrapport Hamos
7. Kommentarer försök Hamos
8. Försöksrapport K+S med kommentarer
9. Försöksrapport Microsort med kommentarer
10. Princip filter Gail
11. Rapport från Orbit samt från Kali + Salz
12. Rapport IFP, Karakterisering m m jan 1998
13. Försöksrapport IFP aug 98
14. Specifikation recyklat
15. Program seminarium i Gnosjö
16. Deltagarlista seminarium
17. Rapport IFP 990702.
18. Rapport från provkörning Arlaplast