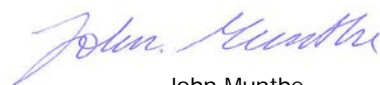


Vad vet vi om farliga
ämnen vid
materialåtervinning av
plast?

Momina Bibi Hanna Andersson Carl Jensen Tomas Rydberg
B2031
Februari 2012

Rapporten godkänd:
2012-03-01



John Munthe
Forskningschef

<p>Organisation IVL Svenska Miljöinstitutet AB</p>	<p>Rapportsammanfattning</p>
<p>Adress Box 5302 400 14 Göteborg</p>	<p>Projekttitel Kunskapssammanställning och analys av farliga ämnen vid materialåtervinning av plast</p> <p>Anslagsgivare för projektet Naturvårdsverket</p>
<p>Telefonnr 031-725 62 00</p>	
<p>Rapportförfattare Momina Bibi Hanna Andersson Carl Jensen Tomas Rydberg</p>	
<p>Rapporttitel och undertitel Vad vet vi om farliga ämnen vid materialåtervinning av plast?</p>	
<p>Sammanfattning I föreliggande projekt har en kartläggning utförts för att visa på vad som redan gjorts och det som pågår inom området farliga ämnen i plast som materialåtervinns, för att ge en överblick över den kunskap som finns tillgänglig. Projektet har utförts med litteraturstudier och intervjuer av aktörer i återvinnings- och tillverkningsbranschen.</p>	
<p>Nyckelord samt ev. anknytning till geografiskt område eller näringsgren Materialåtervinning, plast, farliga ämnen</p>	
<p>Bibliografiska uppgifter IVL Rapport B2031</p>	
<p>Rapporten beställs via Hemsida: www.ivl.se, e-post: publicationservice@ivl.se, fax 08-598 563 90, eller via IVL, Box 21060, 100 31 Stockholm</p>	

Förord

På uppdrag av Naturvårdsverket har IVL Svenska Miljöinstitutet under perioden november 2011 till februari 2012 utfört litteraturstudier och intervjuer för att svara på frågan ”vad vet vi om farliga ämnen vid materialåtervinning av plast?”. Resultaten från studien redovisas i föreliggande rapport.

Sammanfattning

I föreliggande projekt har en kartläggning utförts för att visa på vad som redan gjorts och det som pågår inom området farliga ämnen i plast som materialåtervinns, för att ge en överblick över den kunskap som finns tillgänglig. Projektet har utförts med litteraturstudier som har kompletterats med intervjuer av aktörer i återvinnings- och tillverkningsbranschen.

Fokus i litteraturen ligger ofta på farliga ämnen i plastavfall från elektriska och elektroniska produkter, där kunskapsnivån tycks vara jämförelsevis god. De farliga ämnen som nämns i detta sammanhang var företrädesvis bromerade flamskyddsmedel och tungmetaller. För plastavfall från andra branscher såsom fordonsbranschen och byggbranschen är informationen mera bristfällig. Plastavfall från dessa branscher materialåtervinns dessutom inte i någon större omfattning i Sverige.

Generellt är spårbarheten för plastkomponenter, och kopplat till detta även kunskapen om innehållet i plaster, relativt dålig. Inte minst har återvinnare svårigheter att känna till vad olika plast innehåller. Detta är av betydelse inte bara för förekomsten av farliga ämnen, utan också andra additiver m.m., t.ex. krita, då möjligheterna till materialåtervinning påverkas av detta.

Slutligen identifierades ett antal områden där vidare studier bör prioriteras. Teknisk utveckling för att på ett kostnadseffektivt sätt identifiera vilket flamskyddsmedel plasten innehåller och även för att kunna separera flamskyddsmedlet från plasten skulle göra det möjligt att materialåtervinna mer plast och med bättre kvalitet från elektriskt och elektroniskt avfall. Huruvida andra organiska ämnen än bromerade flamskyddsmedel kan begränsa möjligheterna till materialåtervinning bör studeras vidare, liksom migrationsbeteende hos additiv i återvunnen plast. Studier av återvunnen plast från förpackningar för att identifiera, eller avskriva, eventuella risker på grund av innehåll av farliga ämnen, är relevanta eftersom detta är ett stort flöde av plast till materialåtervinning.

Ordlista

Förkortning	Engelska	Svenska
ABS	Akrylnitril-butadien-styren	Akrylnitril-butadien-styren
BPA	Bisphenol A	Bisfenol A
CLP	Classification, labelling and packaging of substances and mixtures	Klassificering, märkning och förpackning av kemiska ämnen (förordning (EG) nr 1272/2008)
CRT	Cathode-ray tube	Katodstrålerör
decaBDE	Decabrominated diphenyl ethers	Dekabromerade difenyletrar
DEHA	Bis(2-ethylhexyl) adipate	Bis(2-ethylhexyl) adipat
DEHP	Bis(2-ethylhexyl)phthalate	Di(etylhexyl)ftalat
DIBP	Diisobutyl Phthalate	Di-isobutylftalat
DIDP	Diisodecyl phthalate	Diisodecylftalat
DINP	Di-isononyl phthalate	Diisononylftalat
EEE	Electric and Electronic Equipment	Elektrisk och elektronisk utrustning
HBCD	Hexabromocyclododecane	Hexabromocyclododekan
HIPS	High-Impact Polystyrene	Slagfast polystyrenplast
HXRF	Handheld x-ray fluorescence analysis	Handhållen röntgendiffraction
LCD	Liquid Crystal Display	Platt (LCD-)bildskärm
NIR	Near infrared spectrometry	Nära infraröd spektrometri
octaBDE	Octabrominated diphenyl ethers	Oktabromerade difenyletrar
PA	Polyamide	Polyamid
PBB	Polybrominated biphenyls	Polybromerade bifenyler
PBDD/F	Polybrominated dibenzodioxins/furans	Polybromerade dibensodioxiner/furaner
PBDE	Polybrominated diphenyl ethers	Polybromerade difenyletrar
PC	Poly carbonate	Polykarbonat
PCB	Polychlorinated biphenyls	Polyklorerade bifenyler
PCDD/F	Polychlorinated dibenzodioxins/furans	Polyklorerade dibensodioxiner/furaner
PCN	Polychlorinated naphthalens	Polyklorerade naftalener
PE	Polyethylene	Polyeten
PEHD	Polyethylene high-density	Polyeten hög densitet
pentaBDE	Pentabrominated diphenyl ethers	Pentabromerade difenyletrar
PET	Polyethylene terephthalate	Polyetylentereftalat (etentereftalatplast)
POM	Polyoxymethylene	Polyoxymetylen
POP	Persistent Organic Pollutant	Persistent organisk förorening
PP	Polypropylene	Polypropen
PPO	Polyphenylene oxide	Polyfenylenoxid
PUR	Polyurethane	Polyuretan
PVC	Polyvinyl chloride	Polyvinylklorid
RDP	Resorcinol-diphenylphosphate	Resorcinol-difenylfosfat

REACH	Regulation on Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals	Europaparlamentets och rådets förordning (EG) nr 1907/2006 av den 18 december 2006 om registrering, utvärdering, godkännande och begränsning av kemikalier
RoHS	Restriction of certain Hazardous Substances in electrical and electronic equipment	
SAN	Styren-akrylnitrile	Styren-akrylnitril
SLF	Shredder light fraction	Den lätta fraktionen från fragmenteringen av fordon
SVHC	Substances of very high concern (REACH)	Särskilt farliga ämnen (REACH)
TAP	Triarylphosphate	Triarylfosfat
TBBPA	Tetrabromo-bisphenol A	Tetrabromobisfenol A
TBPE	1,2-bis-tribromophenoxyethan	1,2-tribromfenoxyetan
TBPE	Tribromophenols	Tribromfenoler
WEEE	Waste Electric and Electronic Equipment	Avfall från elektrisk och elektronisk utrustning
XRF	X-Ray Fluorescence	Röntgendiffraktion

Innehållsförteckning

Inledning	6
Syfte och mål	6
Avgränsningar	7
Metod.....	7
Resultat	8
Plasttyper och produkters innehåll av farliga ämnen – begränsningar i möjlighet till materialåtervinning	8
Elektronik	10
Fordon.....	13
Byggvaror.....	14
Förpackningar	15
Metoder för att avskilja farliga ämnen innan plasten går till återvinning.....	15
Kunskap hos återvinningsföretag.....	17
Kunskap hos tillverkare	18
Risker vid återvinningsprocessen	18
Arbetsplatsexponering	18
Emissioner till miljön.....	20
Risker vid användande av återvunnet material.....	21
Recirkulering.....	21
Exponering	21
Pågående projekt – vilka typer av resultat kommer vara tillgängliga inom kort.....	22
Diskussion och slutsatser.....	24
Kunskap och kontroll för olika plasttyper och produkter.....	24
Behov av mer kunskap.....	26
Referenser	27
Litteratur	27
Personlig kommunikation.....	29

Inledning

I Sverige idag material- eller energiåtervinns nästan all plast (Plastics Europe 2010). Enligt EU:s avfallshierarki ska materialåtervinning prioriteras över energiåtervinning och med höjda återvinningsmål för t.ex. bilar, elektronik och hushållsavfall och bygg- och rivningsavfall blir det aktuellt att materialåtervinna en större del av plastavfallet.

I princip all plast innehåller additiver för att ge materialet specifika egenskaper såsom flamsäkerhet, mjukhet, färg, skydd mot UV-ljus etc. En del av dessa additiv är farliga ämnen. Vissa är relativt välkända, ett exempel är polybromerade difenyletrar (PBDE), bromerade flamskyddsmedel vilkas användning idag är begränsad genom olika regleringar (RoHS-direktivet, EU:s POP-förordning och den globala Stockholmskonventionen; www.kemi.se). Alla additiv är dock inte lika väl studerade eller reglerade. Plaster kan också innehålla oavsiktligt bildade farliga ämnen och andra orenheter som till exempel rester av processkemikalier.

Innehåll av farliga ämnen kan i vissa fall begränsa möjligheterna till materialåtervinning eftersom det kan innebära en risk för recirkulering av farliga ämnen som är förbjudna idag eller en risk för att farliga ämnen hamnar i produkter som de inte var avsedda för. Det kan också finnas en risk för att dessa ämnen sprids i miljön eller på arbetsplatsen.

Med större volymer och plast från fler användningsområden till materialåtervinning blir det allt viktigare med kunskap om vilken plast som är lämplig att materialåtervinna och vilken plast som bör avskiljas och inte återvinnas på grund av innehåll av farliga ämnen.

Syfte och mål

Syftet med föreliggande projekt är att kartlägga vad som redan gjorts och det som pågår inom området farliga ämnen i plast som materialåtervinns, för att ge en överblick över den kunskap som finns tillgänglig. Vidare ska projektet identifiera kunskapsluckor för att visa var ytterligare insatser behövs.

Målet med denna rapport är att den ska innehålla slutsatser och resonemang om vad vi känner till om farliga ämnen vid materialåtervinning idag och identifierade kunskapsluckor samt förslag på frågeställningar för framtida projekt inom området. I den mån det är möjligt ska resonemangen föras med utgångspunkt i följande tre kategorier av plasttyper och produkter:

- Plasttyper och produkter där vi har kunskap och kontroll
- Plasttyper och produkter där vi har kunskap men fortfarande inte tillräcklig kontroll
- Plasttyper och produkter som inte innehåller farliga ämnen eller där risken för spridning/exponering är liten

Avgränsningar

Inom ramarna för föreliggande projekt menas med farliga ämnen de ämnen som klassificeras som hälso- och/eller miljöfarliga (CLP-förordningen, EG 1272/2008; KIFS 2005:7) och de ämnen som uppfyller kriterierna för att klassificeras som särskilt farliga ämnen (substances of very high concern, SVHC) under REACH-förordningen (EG 1907/2006 registrering, utvärdering, godkännande och begränsning av kemikalier). Olika ämnesgrupper nämns i rapporten, t.ex. ftalater. Inom en sådan ämnesgrupp har de olika ämnena olika egenskaper och därmed olika farlighet. Inom gruppen ftalater kan det till exempel nämnas att di(etylhexyl)ftalat (DEHP) är en SVHC-substans som nu inkluderas i annex XIV under REACH (Kommissionens förordning (EU) nr 143/2011) medan diisononylftalat (DINP), som i många fall används som substitut för DEHP, inte finns med som SVHC på kandidatlistan men att denna substans å andra sidan finns med på ChemSecs SIN-lista (<http://www.chemsec.org/>). Inom ramarna för föreliggande studie fanns inte utrymme att i detalj studera egenskaper hos varje ämne som nämns i intervjuer eller i litteraturen för att bedöma detta ämnes farlighet eller den eventuella risk för negativa effekter som kan uppstå i samband med materialåtervinning av plast som innehåller det aktuella ämnet. Information om ämnen som inte klassas som farliga enligt definitionen ovan nämns således också i rapporten varför denna inte ska läsas som att varje ämne som nämns är farligt.

I föreliggande projekt studeras materialåtervinning av plast som sker genom laglig hantering. Studien innefattar inte risker som uppstår vid illegal hantering. Studien innefattar inte heller återanvändning av plast. Studiens fokus ligger på materialåtervinning som utförs i Sverige.

I vissa fall nämns gällande lagkrav och även branschföreskrifter men ingen fullständig kartläggning av dessa utförs inom föreliggande studie.

Studier av flöden av återvunnen plast och hur efterfrågan på återvunnen plast ser ut genomförs inte inom ramarna för föreliggande projekt utan utreds separat genom en materialflödesanalys för plast inom SMED - Svenska MiljöEmissionsData.

Metod

Projektet genomförs främst som en litteraturstudie där fokus har legat på studier som identifierades vid projektstart i samråd med uppdragsgivaren.

Information och data från litteraturen kompletterades genom intervjuer med representanter från återvinningsindustrin, tillverkningsindustrin samt personer involverade i relevanta pågående projekt. De aktörer inom återvinnings- och tillverkningsbranschen som kontaktats är ledande inom sitt respektive område och listas i referenslistan. Av tio kontaktade har åtta svarat på våra frågor. Vilka svar som kommer från vilka aktörer kan inte utläsas i texten, i enlighet med önskemål från branschen.

Resultat

Plasttyper och produkters innehåll av farliga ämnen – begränsningar i möjlighet till materialåtervinning

Plast används i en mängd olika produkter inom olika branscher. Vilken typ av plast som används och vilka ämnen som tillsätts plasten beror på produktens användningsområde. Det finns en stor mängd olika typer av plastadditiv som används för att ge plasten olika egenskaper. Lithner (2011) nämner bromerade flamskyddsmedel och ftalater (mjukgörare) som ämnesgrupper där vissa ämnen är speciellt farliga för människa och miljö. Plastadditiv tillsätts antingen reaktivt, vilket innebär att ämnet är bundet till polymeren med kemiska bindningar, eller additivt, vilket innebär att ämnet blandats med polymeren. Det senare innebär en större risk att ämnet migrerar ut från plasten och lämnar produkten.

Vilka farliga ämnen som finns i de produkter som blir avfall idag beror på vilka ämnen som användes när dessa produkter tillverkades. Samtal med aktörer i återvinningsbranschen gav en bild av vilka farliga ämnen som begränsar möjligheterna till materialåtervinning i det avfall som uppstår nu. Man nämner att det förekommer farliga ämnen i plasthöljen till elektronikprodukter oftast i form av bromerade flamskyddsmedel som t.ex. polybromerade difenyletrar (PBDE) och hexabromcyklododekan (HBCD). Plasthöljerna består ofta av polyeten (PE), polypropen (PP), akrylnitril-butadien-styren (ABS), polyamid (PA) och styren-akrylnitril (SAN). Det ska dock poängteras att inte alla plasthöljen till elektronikprodukter innehåller bromerade flamskyddsmedel. Också kablage vilka oftast består av polyvinylklorid (PVC) eller PE kan innehålla farliga ämnen i form av klorerade flamskyddsmedel (inga specifika exempel gavs).

Andra exempel på additiver vilka begränsar möjligheterna till återvinning enligt aktörer i återvinningsindustrin är aromatiska aminer vilka har påträffats i svarta köksredskap av PA. Dessa ämnen hade sitt ursprung i återvinningen av PA från detaljer under motorhuven på bilar, och ska inte förekomma i köksdetaljer p.g.a. att de kan vara cancerframkallande. Vad gäller stabilisatorer som t.ex. hindrade aminer och fosforföreningar begränsar de inte möjligheterna till återvinning p.g.a. att de är stabila och förekommer i låga halter i plasten. Andra exempel på plaster som inte återvinns av vissa återvinnare är plaster som är gula eller röda till färgen p.g.a. av att de historiskt sett har visat sig innehålla kadmium respektive bly som färgpigment. Också plast innehållande isocyanater är ett ytterligare exempel på plast som inte återvinns. Detta p.g.a. att de är reaktiva och har visat sig kunna ge upphov till astma. Ovan nämnda exempel begränsar möjligheterna till materialåtervinning främst p.g.a. bransch-/kundkrav men också i vissa fall p.g.a. lagkrav.

Hur ser det då ut i de produkter som används i dagsläget? Till exempel nämner Jonsson och Felix (2010) olika typer av bromerade flamskyddsmedel och volymer som importerats in till Sverige per bransch eller produktsegment varje år. Av den totala volymen om 1295 ton bestod 86 % av tetrabromobisfenol A (TBBPA, tetrabromo-bisphenol A) i elektrisk och elektronisk utrustning och som kemisk produkt, 13 % av decaBDE i elektriska och elektroniska produkter, fordon, byggmaterial och 1 % av HBCD i elektriska

och elektroniska produkter, fordon och byggmaterial. När dagens plastprodukter, flamskyddade med bromerade organiska ämnen, blir avfall bör innehållet av bromerade flamskyddsmedel bestå till stor del av TBBPA och decaBDE och finnas i elektriska och elektroniska produkter, fordon och byggmaterial. Ftalater används som mjukgörare i PVC-plast och idag i Sverige är diisononylftalat (DINP) den som används mest i kemiska produkter sedan 2000-talets början (KemIs hemsida). Dessförinnan var den vanligaste ftalaten di(etylhexyl)ftalat (DEHP). Mjukgjord PVC-plast används i många typer av produkter, t.ex. kablar, golv och olika hushållsartiklar (www.plasticseurope.com). Avfall av mjukgjord PVC uppstår därmed från flera olika branscher såsom bygg- och fordonsbranschen men också från hushåll. Förutsatt att ersättningen av DEHP skett på motsvarande sätt också i produkter som importerats till Sverige bör motsvarande skifte som på tillverkningsidan ses i avfallsledet efter dessa produkters livslängd.

Vissa av de ämnen som används idag kan också komma att fasas ut i framtiden. I Miljöstyrningsrådets rapport (2010) nämns ett antal ämnen som möjliga substitut till mjukgörare (ftalater) i PVC plast, t.ex. bis(2-ethylhexyl) adipat (DEHA). Även till bromerade flamskyddsmedel finns det alternativ som trifenylfosfat, difenylfosfat, de kan användas istället för de mest vanliga halogenerade flamskyddsmedel TBBPA och HBCD i ABS och slagfast polystyren (HIPS, high impact polystyrene). Vidare nämns också, som exempel på marknadens utfasningsarbete, utfasningen av vissa plaster och vissa farliga ämnen i elektriska och elektroniska produkter hos enskilda företag. Ett specifikt exempel är plaster som PVC i mobiler, MP3-spelare och digitalkameror som är under utfasning av flera företag och halogenerade flamskyddsmedel som är förbjudna/reglerade eller under observation hos flera företag.

Strömberg m.fl. (2007) redovisar resultat som indikerar att mängden av det ursprungliga additivet i plasten kan minska och nya ämnen (metaboliter) bildas under återvinning. Detta innebär en risk att produkter tillverkade av återvunnen plast innehåller en mer komplex sammansättning av föroreningar än produkter av jungfrulig plast. Huruvida detta begränsar möjligheterna till materialåtervinning och i så fall vilka typer av plaster och produkter som berörs drar författarna ingen slutsats om.

Återvinningsindustrierna (SRI 2008) nämner att reglerna i REACH kan innebära att möjligheterna att materialåtervinna plast som t.ex. PVC, med mycket additiv, begränsas. Däremot ser man inga problem med renare plaster som polyetylentereftalatplast (PET) och högdensitets polyeten (polyethylene high-density, PEHD). Vidare nämns att lastpallar och backar av plast lämpar sig väl för återvinning och att denna kan begränsas utan undantag för halter av tungmetaller. Det undantag som löpte ut i 2009 har ersatts av ytterligare ett undantag (beslut 2009/292/EG) som innebär att halter av vissa tungmetaller fortfarande får överskrida gränsvärdet i direktiv 94/62/EG om de är tillverkade av återvunnen plast. Artikel 2 i beslutet lyder som följer: ”summan av koncentrationerna av tungmetaller i lådor, backar och pallar av plast får överskrida det tillämpliga gränsvärde som fastställs i artikel 11.1 i direktiv 94/62/EG, förutsatt att dessa lådor, backar och pallar införs i och kvarstår i produktcykler inom en sluten och kontrollerad kedja enligt villkoren i artiklarna 3, 4 och 5”.

Elektronik

Elektronikskrot utgör mer än 5 % av det fasta hushållsavfallet globalt (UNEP 2005 citerad i Naturvårdsverket 2011a), i Sverige genererades 142 000 ton elskrot från hushåll år 2008, knappt 3 % av den totala mängden hushållsavfall (Naturvårdsverket 2010). Ytterligare elektronikskrot genereras i tjänstesektorn och inom industrin. En del av detta el- och elektronikskrot består av plast, t.ex. i höljen till monitorer, runt kablar och i mindre komponenter, som exempelvis grafikkort.

Ett flertal ämnen pekats ut som farliga och som relevanta i sammanhanget återvinning och avfallshantering av elektronikskrot i Naturvårdsverkets rapport om elskrot (Naturvårdsverket 2011a); flera bromerade flamskyddsmedel, bromerade och klorerade dioxiner (PCDD/F och PBDD/F), bromerade och klorerade bensener och fenoler, polyklorerade bifenyler (PCB) och naftalener (PCN), polycykliska aromatiska kolväten (PAH), nonylfenol, organofosfatestrar, ftalatestrar och freoner, antimon, arsenik, asbest, barium, beryllium, kadmium, krom, koppar, bly, kvicksilver, nickel, selen, tenn, yttrium och zink. Man pekar också ut de elektronikdelar som innehåller mest farliga ämnen; kretskort, batterier, katodstrålerör (CRT-bildskärmar), plattskärmar (LCD), PCB-innehållande kondensatorer, freoninnehållande utrustning, tonerkassetter och olika kvicksilverinnehållande utrustning samt plaster. Vissa av dessa ämnen är relevanta i sammanhanget materialåtervinning av plast eftersom de ingår i plasten eller för att de riskerar att förorena den vid återvinningsprocessen. I Miljöstyrningsrådets rapport (2010) nämns också bisfenol A (BPA) som används vid tillverkning av polykarbonat, epoxyharts, epoxiplast och i PVC.

De två EU direktiven WEEE (EU Direktiv 2002/96/EG) och RoHS (EU Direktiv 2002/95/EG) är viktiga i detta sammanhang. Genom WEEE (Waste Electrical and Electronic Equipment) direktivet görs producenter ansvariga för insamling och avfallshantering av elektronikavfall, i direktivet sätts höga återvinningsmål. I RoHS (Restriction of certain Hazardous Substances in electrical and electronic equipment) förbjuds användningen av kvicksilver, bly, kadmium, sexvärt krom och de bromerade flamskyddsmedlen PBBs och PBDEs i nya elektronikprodukter. Både WEEE och RoHS direktiven är under omarbetning (www.europa.eu). I WEEE-direktivet och i de svenska föreskrifterna rörande förbehandling av elavfall (NFS 2005:10) listas ett antal komponenter som ska avlägsnas vid förbehandlingen, inklusive plast som innehåller bromerade flamskyddsmedel.

Jonsson och Felix (2010) nämner att livslängden för elektrisk och elektroniska produkter som kan innehålla farliga ämnen som till exempel bromerade flamskyddsmedel varierar mellan ca 5-10 år vilket leder till att vissa elektriska och elektroniska produkter som innehåller numera urfasade ämnen fortfarande finns kvar i användning i samhället.

I rapporten av Retegan m.fl. (2010) framgår att 2000 ton av det totala 168 000 ton avfall från elektriska och elektroniska produkter per år var plast som innehöll bromerade flamskyddsmedel. Denna plast förbrändes hos auktoriserade anläggningar i Sverige. Resterande mängd som anses vara plast utan bromerade flamskyddsmedel (4000 ton) från avfall av elektriska och elektroniska produkter exporterades till Asien för

materialåtervinning och produktion av nya produkter. De största mängderna av plast i de insamlade avfallet av elektriska och elektroniska produkter utgörs av TV-apparater och datorer som är också de största källorna till plast innehållande bromerade flamskyddsmedel. Man ser att bromerade flamskyddsmedel fasas ut från elektroniska produkter generellt utom i kretskort som innehåller TBBPA. I Miljöstyrningsrådets rapport (2010) påpekas att den största delen, cirka 90 %, av TBBPA, används som reaktivt flamskyddsmedel i epoxyharts som förekommer i kretskort och i polykarbonater (PC). En mindre del av flamskyddsmedel TBBPA används som additiv tillsatts i de plaster som används i olika elektronikapparater, t.ex. höljen.

I Miljöstyrningsrådets rapport (2010) skriver man att de dominerande typerna av plast i elektriska och elektroniska produkter är ABS och HIPS. Andra vanliga plasttyper i elektriska och elektroniska produkter är PP och PC. Man nämner också att TV-apparater består till 9-20 % av plaster som t.ex. polyfenylenoxid (PPO), PS och ABS, HIPS och PVC, både med och utan bromerade flamskyddsmedel. Polyuretan (PUR) används för isolering bland annat kyl och frys.

I en undersökning utförd av Dimitrakakis m.fl. (2009) i Tyskland samlades 13 367 kg avfall av småelektronik. Man använde NIR (near infrared spectroscopy) vilket visade att ABS var den stora fraktionen med 37 %, PP 29 %, PS 19 %, PVC 4,7 %, PC 5 % och 5,6 % var andra plaster. I plastdelarna analyserades tungmetaller och bromerade ämnen med HXRF (handheld x-ray fluorescence analysis) och för de flesta ämnena var koncentrationerna lägre än 0,1 vikt-%. Br, Sb, Zn, Cu, Fe och Ti däremot förekom i koncentrationer upp till och ibland över 10 vikt-%. Ungefär hälften av de analyserade proven innehöll bromerade flamskyddsmedel. Författaren påpekar dock att man måste tolka resultatet med försiktighet eftersom HXRF metoden överskattar koncentrationer av RoHS-ämnen jämfört med atomabsorptionsspektrometri. HXRF kan dock fortfarande vara en bra mätmetod eftersom den är lättanvänd och förhållandevis billig. I studien drar man slutsatsen att svårigheten med plaståtervinning av avfall av elektriska och elektroniska produkter är att de innehåller tungmetaller som kadmium och även PBDEs, PBDDs och att det bildas PBDFs.

Polymerfraktioner från elektronikskrot kan enligt Schlummer m.fl. (2007) delas in i två huvudsakliga kategorier; väldefinierade polymerfraktioner som separerats från elektronikskrot i särskilda demonteringsanläggningar (speciellt vid cathode-ray tube (CRT) glasåtervinning) och blandat material som har fragmenterats. Den sistnämnda är den huvudsakliga delen. Plasten består av en mängd olika polymertyper och har ofta varit förorenad med tungmetaller och/eller farliga organiska ämnen (t.ex. PBB, PBDE och PBDD/Fs) vilket försvårar för materialåtervinning. De nya bromerade flamskyddsmedlen ska dock vara framtagna så att molekylstrukturen minskar risker för att bromerade dioxiner och furaner bildas och plastproducenter har i många fall börjat använda polymerblandningar med inneboende flamskydd, dvs. där flamskyddsmedel inte behöver tillsättas som additiv, såsom polyfenyloxid och polykarbonat.

Schlummer m.fl. (2007) studerade polymerfraktionerna av elektronikskrot avseende föroreningsnivåer och möjligheter för materialåtervinning för att få en bild av om utvecklingen inom elektronikbranschen förändrat situationen som beskrevs ovan. Man studerade höljen till monitorer och TV-apparater både från separata prover (dvs. hela

höljet) och från fragmenterat material från olika Europeiska återvinningsanläggningar. Man studerade också blandat fragmenterat material från avfall av elektriska och elektroniska produkter. I plasthöljerna som undersöktes separat var HIPS (high impact polystyrene) den vanligaste polymeren i TV-höljen och i höljen från monitorer var ABS och PPO/PS vanligast. Man fann halter högre än en procent brom i 27 % av proven. Maxhalter av klor, antimon, tenn, koppar och kadmium återfanns i procentnivåer. Dessutom fanns ytterligare tungmetaller (Cd, Hg, Ni, As, Pb) i halter högre än 100 µg/g i vissa prov. Flamskyddsmedel som kunde identifieras var TBBP A, decaBDE, octaBDE, 1,2-bis-tribromophenoxyethan (TBPE) och karbonat oligimeren av TBBPA, resorcinol-diphenylphosphate (RDP) och triarylphosphate (TAP). Bromerade flamskyddsmedel återfanns i 10 av 15 prover. PBB kunde inte detekteras i något prov. Antimon används som synergist i bromerade flamskyddsmedel, organiska tennföreningar används som stabilisatorer i PVC, koppar kan härröra från kopparinnehållande ytbeläggningar och kadmium från pigment. I fragmenterad plast från höljen till TV och monitorer fann man att 20-50 % var flamskyddad med bromerade flamskyddsmedel, vilket är jämförbart med svenska förhållanden där ungefär 1/3 av plasten är flamskyddad med bromerade flamskyddsmedel (Retegan m.fl. 2010). I blandat fragmenterat plastmaterial från elektronikskrot varierade bromhalten mycket. I studien av Schlummer m.fl. (2007) såg man att halterna av koppar och bly var högre än i proven från endast plasthöljen vilket ansågs vara en indikation på att kablar och lod inte separerats från polymeren vid fragmentering av det blandade materialet. Man fann liknande halter av PBDD/Fs som i plasthöljerna, trots att halterna av bromerade flamskyddsmedel var lägre.

Schlummer m.fl. (2007) jämförde också halter av farliga ämnen i plasten med gränsvärden i tysk- och EU-lagstiftning (RoHS) och fann att 13 % av plasthöljerna inte kunde materialåtervinnas p.g.a. för höga halter av octaBDE och 9 % kunde inte återvinnas p.g.a. för höga halter av kadmium (båda fallen gäller det höljen som undersöktes separat). I det fragmenterade materialet överskreds octaBDE gränsvärden i 71 % av proven av plasthöljen och i 63 % av proven av det blandade materialet. Alla prov överskred dessutom tyska gränsvärde avseende PBDD/Fs. Schlummer m.fl. (2007) jämförde sina resultat med tidigare studier och fann bland annat att halterna av krom, bly och nickel var lägre vilket enligt deras resonemang kan bero på optimerad separationsteknik för termoplaster från kretskort. De diskuterar också huruvida de nya flamskyddsmedlen leder till en minskad nivå av PBDD/Fs och kommer med stöd av litteraturen fram till att det inte alltid är säkert. Till exempel så har Riess m.fl. (2000, citerad i Schlummer m.fl. 2007) funnit högre halter av PBDD/Fs i TBPE innehållande återvunnen plast. De kunde inte se någon minskning av halterna av PBDD/Fs och drar också slutsatsen av bildningen av dessa ämnen ökar med mängden energi som tillsätts vid fragmenteringen av plastmaterialet. Schlummer m.fl. argumenterar för att avsaknaden av PBB i deras prover är en indikation på att förekomsten av detta flamskyddsmedel nu inte längre är i halter som är bekymmersamma. Man noterar också en trend mot ökad användning av fosfatbaserade flamskyddsmedel. Slutligen drar man slutsatsen att plastavfall från elektronikskrot innehåller för höga halter av farliga ämnen, för att möjliggöra materialåtervinning behövs antingen sofistikerade processer för att sortera ut den plast som innehåller farliga ämnen och/eller effektiva extraktionsmetoder för dessa ämnen. Man pekar speciellt på PBDD/F, PBDE och kadmium.

Enligt återvinningsföretagen (SRI 2008) är det ABS av plasterna flamskyddade med bromerade organiska flamskyddsmedel som är mest lämplig för mekanisk återvinning (slutna system) och man nämner kopieringsmaskiner av märket Ricoh som är tillverkade av 30 % återvunnen plast som innehåller bromerade flamskyddsmedel. Den materialåtervinning av plast innehållande bromerade flamskyddsmedel sker idag, enligt återvinningsföretagen (SRI 2008) genom att tillverkarna tar tillbaka sina egna produkter vilket innebär att de har tillräckligt med information om plastens innehåll.

I Miljöstyrningsrådets rapport (2010) beskriver man också två olika studier gjorda av Greenpeace. Den ena studien analyserade datakablar för ftalatinnehåll. Analysdata från ett av provena vilket var en kabel mellan DC-transformator och datorn visade sig innehålla fem ftalater (DBP (dibutylftalat), DEHP (di(2-etylhexylftalat)), DIBP (di-isobutylftalat), DINP (di-isononylftalat), DIDP (diisodecylftalat)) till en totalkoncentration på 18 vikt-%. Detta resultat kan ses som förväntat eftersom den analyserade kabeln var gjord av PVC till vilken oftast ftalater sätts som mjukgörare. Generellt utgörs nästan allt kablage av PVC plast. Mer specifikt finns det PVC i 44 % av alla plasttäckta interna och externa kablar. Det förekommer ftalater upp till 28 vikt-% i alla kablar och av alla ftalater är DINP (di-isononylftalat) och DIDP (diisodecylftalat) dominerande. Den andra studien gjordes på bärbara datorer 2006, 18 bärbara datorer av olika märken, några av dem var inköpta inom EU och andra utanför EU. Resultaten visade att ingen av datorerna innehöll kvicksilver, kadmium, bly eller sexvärt krom men att de innehöll bromerade flamskyddsmedel och ftalater. Kretskort och moderkort visade sig innehålla bromerade flamskyddsmedel. Man har även tittat på bandkabel och musmatta och kunnat identifierad TBBPA och PBDE i 4 av 15 prover men inte PBB eller HBCD. Dock var både PBDE och även TBBPA halterna så låga att de hamnar under gränsvärdet i RoHS på 0,1 vikt-%.

Fordon

Enligt Jonsson och Felix (2010) har fordonsindustrin höga krav på brandsäkerhet och därför används flamskyddsmedel i vissa plastdelar i bilar. I fordons inre delar och elektroniska delar används bromerade flamskyddsmedel, främst förekommande i kretskort, där TBBPA är ett vanligt flamskyddsmedel. Den uppskattade kvantiteten av bromerade flamskyddsmedel i fordon är ungefär 20 ton per år och det mesta av det hamnar i den lätta fraktionen efter att de uttjänta fordonen har fragmenterats. Sedan 2007 har fordonstillverkare fått ett utökat producentansvar (SFS 2007/185). Vidare har fordonsindustrin ett system, International Material Database System (IMDS), där fordonskomponenter och deras innehåll övervakas.

Hanteringen av uttjänta fordon innebär att i ett första steg tömma bilarna på batterier, vätskor och även ta bort däck och delar för återanvändning m.m. varefter bilarna skickas till en fragmenteringsanläggning i vilken bilarna mals ner i mindre delar. Vid den efterföljande sorteringen erhålls förutom olika metallfraktioner även en lätt fraktion som kallas SLF (shredder light fraction). SLF är vanligtvis cirka 20 % av avfallet från uttjänta fordon och det är i denna fraktion de flesta plastdelar från fordon hamnar. Stena Metall AB, som är det största företaget i Sverige som återvinner uttjänta fordon producerar i sin europeiska verksamhet totalt ca 150 000 ton SLF och ”fines” (mindre bitar av fragmenterat

material som har ungefär samma innehåll som SLF) per år. Dessa mängder kommer dock inte enbart från fordon utan även från andra avfalls slag som tas emot på en fragmenteringsanläggning. 75 000 ton, innehållande ca 0,01 % av brom, läggs på deponi och 75 000 ton, med 0,01-0,03 % av brom, förbränns för energiutvinning i en godkänd förbränningsanläggning. En låg inblandning av SLF i det konventionella avfallet är nödvändig eftersom denna avfallsfraktion är mer energirik jämfört med konventionellt avfall som förbränningsanläggningarna är konstruerade och optimerade för. Andra anledningar är att förbränning av SLF ger upphov till mer aska och är betydligt mer frätande p.g.a. dess höga innehåll av klor och alkalimetaller vilka bildar frätande alkaliska klorider. (Jonsson och Felix 2010)

Färg på plastdelarna måste tas bort innan plasten kan materialåtervinnas. För detta finns tekniker utvecklade i t.ex. Tyskland (SRI 2008). Där har man också en fungerande materialåtervinning och plasten används igen inom fordonsindustrin.

Eftersom fordon har en lång livslängd tar det lång tid innan ämnen som fasats ur produktionen också fasas ur avfallshandlingen. Enligt BILSweden bestod den största delen av de bilar som skrotades 2010 av bilar av årsmodell 1988 (BILSwedens hemsida). Det vill säga att t.ex. de idag förbjudna bromerade flamskyddena penta- och oktaBDE fortfarande kan finnas i bilar som går till skrotning och fortsätta göra det troligtvis i flera år framöver.

Byggvaror

Jonsson och Felix (2010) pekar ut en rad olika material som används i byggbranschen som kan innehålla farliga ämnen; bromerade flamskyddsmedel av typ TBBPA och PBDE i elektriska produkter som kretskort, strömbrytare, kablar, övervakningsutrustning, hissar, belysning, strömbrytare, plast i rör, installationskablar och andra plastdetaljer. Vidare kan det i mattor (textil och polyolefin) och paneler finnas HBCD och PBDE. I isoleringsmaterial som består av polystyren eller polyuretan kan det finnas HBCD och i ventilationsprodukter av plast som fläktar, rör, kylmaskiner, värmepumpar kan det finnas PBDE.

Jonsson och Felix (2010) nämner också att byggmaterialsavfall som innehåller bromerade flamskyddsmedel är generellt olika plastmaterial. Det nämns också i rapporten att omkring 23 000 ton/år av plastavfall kommer från bygg- och rivningssektorn i Sverige. Byggbranschen och rivningssektorns plastavfall förbränns i allmänhet men en del av plastavfallet hamnar också på deponi. Byggnader och anläggningar har generellt en mycket lång livslängd, längre än fordon och elektriska och elektroniska produkter, och därför kommer med rätt hög sannolikhet stora volymer av byggvaror som innehåller förbjudna bromerade flamskyddsmedlen att finnas i avfallsströmmar i flera år framöver. I slutsatserna i sin rapport efterlyser Jonsson och Felix (2010) också en förbättring av system för spårbarhet av bromerade flamskyddsmedel i avfallsströmmarna.

En plast som används mycket i byggvaror är PVC. Återvunnen PVC kan innehålla kadmium och i EUs förordning (494/2011) står det att gränsvärdet för kadmium i PVC i byggprodukter bör höjas för att möjliggöra återvinning av plasten. PVC-industrin har dock

fasat ut nyanvändning av kadmium i PVC (år 2001 för EU-15, 2006 för EU-25 och 2007 för EU-27; www.vinyl2010.org).

Förpackningar

I Sverige återvinns en stor del av förpackningsmaterial av plast och i Europa står förpackningsmaterial för den största delen av plastanvändningen (Plastics Europe 2010). Mängderna plast som materialåtervinns från förpackningsmaterial är således stora. I de litteraturstudier som utförts i föreliggande projekt nämns inte att materialåtervinning av plastförpackningar begränsas p.g.a. förekomst av farliga ämnen.

Däremot nämner återvinningsindustrin att livsmedelsindustrin ställer höga krav på plasten som används i livsmedelsförpackningar p.g.a. att plasten är i kontakt med mat och dryck. Materialåtervinning av plast för användning i livsmedelsindustrin regleras genom Kommissionens förordning nr. 282/2008 om återvunna plastmaterial och plastprodukter avsedda att komma i kontakt med livsmedel. Plaster som används inom livsmedelsindustrin är främst PE, PP och PET. De högt ställda kraven gör också att det är mycket svårt att erhålla en marknad för användning av återvunnen plast i livsmedels- och dryckesförpackningar. Ett undantag är plast från pantflaskor vilka går till materialåtervinning och tillverkning av nya plastflaskor.

Metoder för att avskilja farliga ämnen innan plasten går till återvinning.

I samtal med aktörer i återvinningskedjan har det framkommit att de metoder som idag förekommer för att avskilja plaster innehållande farliga ämnen är NIR för detektering av plaster innehållande bromerade & klorerade flamskyddsmedel, XRF-scanner och s.k. sink float teknik med vilken separationen sker baserat på densitetskillnader mellan olika plaster. Man nämner också att det enbart utförs stickprovskontroller eftersom det inte är möjligt p.g.a. tids- och kostnadsskäl att analysera varje enskild plastdetalj som samlas in. Baserat på genomförda analyser har också personalen byggt upp en stor kunskap om vilka plastdetaljer som innehåller farliga ämnen och som därmed inte är lämpliga för materialåtervinning. Ett exempel på detta är bakstycken till TV- och datorskärmar (CRT) vilka har analyserats genom att använda en XRF scanner. Genom att göra detta för ett antal olika typer av olika fabrikat har detta givit en vägledning till personalen över vilka delar som innehåller bromerade flamskyddsmedel och som därmed skickas till destruktion i form av högtemperaturförbränning. Vid demonteringsanläggningar för elektronik är det idag endast plast innehållande bromerade flamskyddsmedel som man sorterar bort för förbränning i enlighet med Naturvårdsverkets föreskrifter (NFS 2005:10). Vid samtal med elektronikdemonterare anges dock att den största andelen av de plasthöljen som demonteras inte innehåller bromerade flamskyddsmedel varför de största mängderna går till materialåtervinning.

De plaster som sorteras vid elektronikdemontering och som går till materialåtervinning, skickas oftast på export utomlands via traders. Detta baseras på intervjuer med aktörer i

återvinningsbranschen. Exempel på de krav som ställs är att det ska framgå från vilken bransch som plasten uppkommit och att 98 % av det utsorterade materialet ska utgöras av plast. Några krav på att plasten ska vara sorterad eller inte innehålla bromerade flamskyddsmedel ställs inte idag vid export. För sorterad plast får man dock mer betalt än för osorterad plast.

Vad gäller produktionsspill som går till materialåtervinning har man ofta en mycket god kontroll över vilka ämnen som plasten innehåller baserat på information från tillverkare varför detta inte behöver sorteras eller kontrolleras i någon större utsträckning. För dessa plaster förlitar man sig således på att den information som leverantören anger är korrekt. Ofta upprättas också en inköpsbekräftelse i vilken leverantören lovar att plasten är fri från t.ex. SVHC substanser (substances of very high concern). Dock nämns att det p.g.a. brist på förståelse och kompetens hos tillverkare och leverantörer av plast finns en risk att plast innehållande SVHC substanser går till materialåtervinning även om denna risk bedöms som liten av återvinningsbranschen.

Att använda sig av befintliga märkningssystem bedöms av branschen vara ett trubbigt verktyg för att sortera bort plast innehållande farliga ämnen eftersom märkningen inte ger någon information om ingående additiver. Därutöver finns det inte något märkningssystem som tillämpas globalt utan olika märkningssystem förekommer, både vad gäller geografi där EU har ett märkningssystem och USA ett annat samt för olika applikationer där t.ex. bilindustrin har ett eget märkningssystem.

Enligt Retegan m.fl. (2010) föredras XRF som metod för att detektera förekomsten av bromerade flamskyddsmedel, såsom PBDE, för att det är en metod som är relativt billig, lätt och kan göras på plats. Andra mätmetoder är infraröd spektroskopi (FT-IR), vätskekromatografi (HPLC) gaskromatografi och masspektroskopi (GC/MS) men dessa används sällan eftersom de kräver en grundlig analys på lab. Vidare nämner även Retegan m.fl. (2010) att de metoder som praktiskt används av medarbetarna på återvinningsföretagen är skriftliga instruktioner och riktlinjer för -operatörer om vilka komponenter i plast i avfall av elektriska och elektroniska produkter som i allmänhet innehåller bromerade flamskyddsmedel som ska tas bort manuellt. Även arbetserfarenhet av en person som jobbat länge och samlat på sig en viss kunskap om att manuellt sortera avfall av elektriska och elektroniska produkter plast som innehåller bromerade flamskyddsmedel anses vara en metod. Den tredje metoden är att med hjälp av densitet separera brominnehållande plast från bromfri, då den senare flyter i ett vattenbad medan den förra sjunker. Vattnets densitet regleras genom tillsats av salter. Retegan m.fl. skriver också att företag anger att de själva utför regelbunden kontroll av noggrannheten hos deras metoder med röntgen (XRF). Dock har ingen av ovan nämnda metoderna möjlighet att skilja mellan plast som innehåller PBDE från plast som innehåller andra bromerade flamskyddsmedel. Osäkerheten kan vara stor speciellt i de två första metoderna (skriftliga instruktioner och riktlinjer och metoder baserade på erfarenhet av medarbetare) som kan leda till att plast som innehåller bromerade flamskyddsmedel hamnar i plast som ska vara fri från bromerade flamskyddsmedel.

Ljusa plaster kan sorteras med hjälp av NIR enligt Gesing m.fl. (2006) men man nämner inget om farliga ämnen när plasten vidare fragmenteras, återvinns och blir till ny produkt.

Gesing m.fl. (2006) beskriver att det genom EU:s ELV-direktiv läggs ett återvinningsansvar på fordonstillverkare, men att dessa ofta saknar kunskap eller ignorerar befintlig teknik för skrotåtervinning.

Kunskap hos återvinningsföretag

Enlig SAKAB förbränns i deras anläggning cirka 2 300 ton per år av avfall som innehåller bromerade flamskyddsmedel och företaget Sysav fick 1 110 ton material till förbränning 2009, varav ca 1-2 viktprocent var brominnehållande material. (Jonsson och Felix 2010)

Vid samtal med aktörer i återvinningsbranschen har det framkommit att de är väl insatta och har stor kunskap om gällande lagstiftning som t.ex. REACH inklusive RoHS och SVHC. Dock menar flera av de företag som har intervjuats i denna studie att kunskapen om t.ex. REACH är mycket låg generellt sett i återvinningsbranschen.

Därutöver bedöms REACH vara svårt att tillämpa, speciellt med avseende på innehåll av SVHC-substanser, p.g.a. svårigheter att komma över komplett information om innehållet i plasten. Detta är speciellt svårt om plaster köps in från flera olika källor. För produktionsspill är det dock lättare att få information om ingående additiver.

Vidare nämns också att det idag finns en stor och allmän rädsla för bromerade flamskyddsmedel varför mycket plast idag skickas till förbränning istället även om de är tillåtna för användning och lämpade för att återvinnas. Detta är p.g.a. att halogenerade flamskyddsmedel är betydligt mer temperaturbeständiga jämfört med icke halogenerade vilka bryts ner och därmed förlorar sin funktion vid lägre temperaturer. Detta gäller främst plaster i form av PC och ABS som används som höljen i elektronikprodukter.

Angående återvinning av skrotade fordon nämner Jonsson och Felix (2010) International Dismantling Information System (IDIS) som ger inte någon specifik information om bromerade flamskyddsmedel.

Angående återvinning inom byggbranschen nämner Jonsson och Felix (2010) att branschen har vissa riktlinjer att följa när en byggnad ska rivas. De innehåller instruktioner att alltid utföra en ingående inventering av de material som ingår i en byggnad innan den rivs och sedan sortera med hänsyn till material. Detta är särskilt viktigt om man misstänker att byggnaden innehåller farligt material och/eller produkter. Denna inventering och sortering blir mycket viktig för avfallshanterare som följer detta som enda grund för hanteringen. Enligt Sveriges Byggindustrier finns det inga systematiska undersökningar för att kontrollera mängden bromerade flamskyddsmedel i avfall från byggindustrin. De bedömer att det kommer att inte vara någon kontroll av flödet av bromerade flamskyddsmedel i byggmaterial förrän lagstiftningen kräver det.

Kunskap hos tillverkare

Baserat på samtal med tillverkande företag vilka använder sig av återvunnen plast i viss utsträckning anges att det ofta förekommer listor över ämnen vilka inte får förekomma i företagets produkter. Att dessa krav följs kontrolleras med jämna mellanrum enligt förekommande kvalitetsledningssystem enligt ett par tillverkande företag. Ett annat företag nämner att någon kontroll inte utför utan man litar på att de uppgifter som leverantören anger stämmer. Förutom krav på att farliga ämnen¹ inte får förekomma ställs oftast funktionskrav på plasten i form av t.ex. hållfasthet, temperaturbeständighet och resistens mot kemikalier vilket gäller oavsett om plasten är baserad på jungfrulig råvara eller återvunnen plast. Dock nämns att det kan vara svårt att få information om innehållande additiver för komponenter innehållande plast vilka har tillverkats i 2:a och 3:e led (dvs. leverantörernas leverantörer). Därutöver anses att de säkerhetsdatablad som ges av tillverkare av plasten inte ger någon detaljerad information om förekommande additiver p.g.a. konkurrensskäl. I de fall tillverkare väljer att miljömärka sina produkter enligt Svanen, TCO etc., tar plasttillverkarna direktkontakt med dessa organisationer och anger riskfraser etc. vilka hanteras konfidentiellt varför tillverkarna av produkten endast får information om att de satta kraven för respektive miljömärkning har uppfyllts.

Vanligt förekommande är också enligt leverantörer av återvunnen plast att materialet ska vara kompatibelt med RoHS eller att inga SVHC-substanser får förekomma över en viss halt. Råvaruleverantören tar ofta fram verifikationsdokument avseende kemiskt innehåll och halten ”post consumer recycled material” i plastråvaran förutom de tekniska egenskaperna på materialet. Enligt leverantörer av råmaterial försöker man dock lova så lite som möjligt i dessa dokument. Detta då det i princip är praktiskt omöjligt att kontrollera huruvida substanser enligt SVHC förekommer eller ej för återvunnen plast.

Gesing m.fl. (2006) nämner inte något om farliga ämnen när de beskriver användning av återvunnen plast för tillverkning av bildelar. Man nämner också att det återvunna granulatet kan blandas med jungfrulig polymer och nödvändiga additiv som fyllmedel, mjukgörare, flamskyddsmedel, antioxidanter m.m. för att transformeras till en teknisk plast som kan användas på nytt. Genom pelletering och gjutning/extrudering blir fragmenterat plastmaterial till nya produkter som t.ex. PUR-skumisolerande komponenter för transport, byggande, konsument produkter och fordonskomponenter. Några specifika exempel som ges är pallar, lådor, framskärm till bil och spiralarör som är av 100 % återvunnen plast.

Risker vid återvinningsprocessen

Arbetsplatsexponering

Den främsta risken vid själva demonteringen av elektronik som anges vid samtal med elektronikdemonterare är dammbildning. Detta eftersom alla metaller (kvicksilver

¹ Vad som menas med farliga ämnen i just detta sammanhang definieras av företagen själva och den definition som beskrivits i föreliggande rapport är inte nödvändigtvis applicerbar

undantaget) är partikelbundna varför inandning av damm utgör en viktig exponeringsväg. En annan exponeringsväg som anges är i samband med intag av mat och dryck eftersom en dålig handhygien hos personalen har observerats. För att minimera riskerna för exponering anges bl.a. en utbyggd ventilation inklusive täta filterbyten, regelbunden rengöring av ventilationskanaler, obligatorisk användning av andningsskydd för personalen, regelbunden tvätt av alla arbetskläder samt rutiner rörande var mat kan förtäras.

Även i Naturvårdsverkets rapport 6417 (Naturvårdsverket 2011a) nämns damning som den största riskfaktorn för arbetsplatsexponering. Dammet uppkommer vid demontering, fragmentering, sortering samt vid de pyrometallurgiska processerna. Man nämner också risker för exponering för kvicksilver och andra flyktiga ämnen om komponenter som innehåller dessa går sönder.

Vid samtal med elektronikdemonterare anges att det genomförs regelbundna kontroller av personalens exponering för främst bly, kadmium och arsenik. Det utförs också kontroller av damm både totalt och respirabelt samt förekomst av olika metaller i inomhusmiljön. Den metall som förekommer mest frekvent är bly. Genom blodanalyser på anställda har man observerat blyhalter som är 8-10 gånger högre jämfört med referenspersoner som arbetar i kontorsmiljö. Det ska dock poängteras att dessa värden ligger långt under gällande gränsvärden. Det ska också tilläggas att bly förekommer i höga koncentrationer i kretskorten och i blyglaset i CRT skärmar vilka troligtvis är betydligt större orsaker till högre koncentrationer av bly hos personalen, än bly i plasten. De additiver vilka av en återvinnare anses utgöra störst risk för de anställda är bromerade flamskyddsmedel samt klorerade flamskyddsmedel, de senare förekommer främst i flamskyddade kablage.

Vid själva återvinningen av plasten utgör compoundingen den största risken för de anställda, baserat på intervjuer med aktörer i återvinningsindustrin. I detta steg upphettas den återvunna plastråvaran och det tillförs olika additiver beroende på vilken applikation plasten ska användas för vilket ställer olika krav på egenskaper som t.ex. resistans mot temperatur, solljus, kemisk påverkan och slagfasthet etc. I och med att plasten upphettas avges flyktiga ämnen från plasten. Ett ämne som anges vid samtal med återvinningsindustrin är hexabromcyklododekan (HBCD), men man anser att kunskapen om detta ämne är god och att man därigenom kan undvika risker. Andra plaster och ämnen som anges utgöra en arbetsmiljörisk är polyoxymetylen (POM) vilken vid höga temperaturer utvecklar formaldehyd vilket är cancerframkallande samt polyuretanskum vilket innehåller isocyanter vilka är mycket reaktiva och kan orsaka svår astma.

För att minimera riskerna med exponering i samband med compoundingen har man god ventilation användning av andningsskydd (partikelfilter) och andningsmask (gasfilter) för personalen. Därutöver genomförs stickprovskontroller av sammansättningen av de gaser som bildas. Några förhöjda halter av additiver hos anställda har inte kunnat påvisas.

Sjödín m.fl. (1999) studerade blodet på tre yrkesgrupper i Sverige. Den första gruppen bestod av kontorister som arbetade heltid framför datorn, den andra gruppen bestod av sjukhusstädare och den tredje gruppen arbetade på en elektronik-nedmonteringsanläggning. Den tredje gruppens arbete innebar manuell nedmontering av elektroniska varor såsom personliga t.ex. datorer, tv-apparater och radioapparater och även

plastfragmentering. Personalen som ansvarade för fragmentering bar masker för dammskydd. Alla tre gruppernas blod analyserades på dessa följande PBDE-kongener: BDE-47, BDE-153, BDE-154, BDE-183 och BDE-209. Betydligt högre koncentrationer av varje enskild PBDE-kongener som analyserats påträffades i den personal som arbetade vid nedmontering av elektroniska varor jämfört med de nivåer man fann i blod från städare och tjänstemän. Det är rimligt att tro att personalen som utförde demontering av elektronik utsattes för högre koncentrationer av PBDE; mediankoncentrationen av PBDE (totalhalt av alla kongener som ingick i studien) i serum hos personal som arbetade med elektronikdemontering av 37 pmol/g lipidvikt medan den var 7,3 och 5,4 pmol/g lipidvikt i tjänstemän och städare.

Retegan m.fl. (2010) kunde i sin rapport konstatera att personal exponeras för additiver förekommande i plastavfall av elektriska och elektroniska produkter i samband med fragmentering av uttjänt elektronik. Detta i form av PBDE förekommande i dammpartiklar. I studien fann man också att fragmenteringen i sig kan gynna bildningen av bromerade dioxiner och furaner (PBDD/F). Orsaken till detta ansågs vara att plasten vid fragmenteringen utsätts för så höga temperaturer p.g.a. friktionen som uppstår, att kemiska reaktioner sker inklusive bildning av nedbrytningsprodukter.

Emissioner till miljön

Sakai m.fl. (2007) kunde i sin studie rörande återvinning av uttjänta fordon i Japan se att den SLF som erhöles vid fragmenteringen innehåller PBDE i nivåer av några hundra ppm, HBCD, TBBPA och TBPs i nivåer lägre än ppm nivåer till flera ppm. Detta innebär att det finns en stor risk att bromerade flamskyddsmedel emitteras till miljön vid återvinning av uttjänta fordon. Detta genom t.ex. luftburet damm samt tvättvatten vilka uppstår i fragmenteringsprocessen.

Vid högtemperaturprocesser i plaståtervinning kan bromerade och klorerade dioxiner och furaner släppas ut. Utsläppen är möjliga att minimera med hjälp av processoptimering och åtgärder för utsläppsreduktion men man har trots detta hittat förhöjda halter av dessa ämnen i närheten av återvinningsanläggningar. (Naturvårdsverket 2011a)

Vid analyser av dagvattnet har ett företag som har kontaktats påvisat högre koncentrationer av metaller. Det har dock inte kunnat konstateras huruvida detta är p.g.a. av den egna verksamheten eller kringliggande industriens påverkan.

Retegan m.fl. (2010) nämner också utomhusförvaring av plast i avfall av elektriska och elektroniska produkter som potentiellt problematisk då kontakt med nederbörd som kan orsaka utlakning.

Jonsson och Felix (2010) skriver att det under en produkt som innehåller PBDEs livslängd kan utsläppen av PBDE i miljön beräknas bli nära 2 % av det totala beloppet av PBDE i produkten och när produkten återvinns kan detta orsaka utsläpp av bromerade flamskyddsmedel och bromerade dioxiner och furaner till miljön.

Risker vid användande av återvunnet material

Recirkulering

Vid samtal med aktörer i återvinningsindustrin har det framkommit att det förekommer en viss risk att farliga ämnen cirkuleras i samband med återvinningen av plast. Detta p.g.a. att det av kostnadsskäl inte går att göra analyser på varje enskild plastdetalj som tas emot för återvinning. Risken bedöms vara betydligt högre för återvunnen plast (post consumer) jämfört med industrispill. Detta p.g.a. att det inte går att erhålla samma kvalitetskontroll för denna plast som också oftast har samlats in från många olika källor. Dock anges av återvinnare att plaster innehållande halogenerade flamskyddsmedel generellt sett går till energiåtervinning oavsett om flamskyddsmedlen är förbjudna eller inte. Detta p.g.a. att det är alltför kostsamt att göra nödvändiga analyser för att kunna separera tillåtna halogenerade flamskyddsmedel från de förbjudna.

Exponering

I samtalen med återvinningsindustrin har det också framkommit att man anser att den allra största mängden av plast som idag återvinns inte innehåller farliga ämnen. Därutöver binds ingående additiv mycket bra i plastmatrisen för vanliga applikationer av plast varför riskerna att additiver avges i någon större utsträckning i samband med användning bedöms som liten.

Vid samtal med bilindustrin anger en tillverkare att man idag inte använder återvunnen plast i interiören utan främst i externa detaljer som inte är direkt synliga. Detta p.g.a. av de hårda kvalitetskraven på synliga plastytor varför exponering av eventuella farliga ämnen från återvunnet plastmaterial är minimal.

En annan anledning till risk för exponering av farliga ämnen genom återvunnen plast är om plasten använts felaktigt innan återvinningen. Franz m.fl. (2007) studerade farliga ämnen i använda PET-flaskor i Europa och kom fram till att felaktig användning som leder till kontaminering av plasten var ovanlig. Man studerade halter av lösningsmedel i PET-material för återvinning och fann nivåer mellan 1,4-2,7 mg/kg vilket genom statistisk analys indikerade att 0,03-0,04 % av flaskorna använts felaktigt och man kunde inte se att insamlingssystemet påverkade detta. Vidare drog Franz m.fl. slutsatsen att konsumenten exponeras för <50 ng per dag av ”misuse chemicals” och att moderna rena (super-clean) tekniker för återvinning av PET-flaskor är tillräckligt säkra för att materialet ska kunna användas till livsmedelsförvaring.

Pågående projekt – vilka typer av resultat kommer vara tillgängliga inom kort

Nedan listas och beskrivs ett urval av relevanta studier inom området.

- Chemitecs: Syftet med programmet (pågår dec 2007 – nov 2012) är att öka förståelsen och kunskapen om emissioner av organiska ämnen från varor. I en rapport från 2010 (Westerdahl, m.fl., 2010) gjordes en uppskattning över mängden plast upplagrad i samhället och dessas innehåll av additiver, samt en grov skattning hur mycket additiver i för olika plaster som årligen släpps ut i Sverige under användningen. Detta var baserat på bl.a. handelsstatistisk, livscykelanalyser och innehållsdeklarationer för olika produkter. Modellen har förfinats och meningen är också att en första samlad skattning ska göras som också inkluderar emissioner från återvinning av plast
- RISKCYCLE: Ett EU-projekt av typen ”coordination action” inom FP 7 (Grant Agreement 226552, pågår sep 2009 – aug 2012) som syftar till att kartlägga kunskapsläget och formulera forskningsbehov med avseende på förekomst av, risker med, och riskhanteringsstrategier för, farliga ämnen som återförs till kretsloppen i samband med återvinning av material, särskilt genom internationella/globala återvinningsflöden, bl.a. plastprodukter och elektronik. En viktig del av projektet är medvetandegörande av problemet i länder utanför EU som hanterar stora mängder återvinningsmaterial. Huvuddelen av arbetet i projektet kommer att dokumenteras i två bokvolym (Bilitewski et al, (eds.), 2011; Bilitewski et al, (eds.), 2012).
- EQP: (oktober 2009-september 2012) syftar till att öka användning av mekaniskt återvunna konstruktionsplaster i nya produkter. Detta genom att man utvärderar olika system för att sluta plastkretsloppet och göra återvunnen plastråvara jämförbar med nyråvara samt föreslår strategier för uppgradering av återvunnen plastråvara som kan implementeras fullt ut i nya produkter. Fokus ligger på plaster från bilindustrin och elektronikindustrin. Ett delprojekt syftar till att kartlägga hur antioxidanter och UV-stabilisatorer (i huvudsak ämnen ur gruppen steriskt hindrade fenoler) påverkas av återvinningsprocesser, och eventuellt emitteras. Emissioner och viss nedbrytning har detekterats, men preliminära slutsatser (Bibi, 2011) är att den absoluta majoriteten av substanserna finns kvar i plasten även efter ombearbningsstegen som sker vid återvinning.
- Hållbar avfallshantering: Syftet med projektet är att identifiera vilka styrmedel och strategiska beslut som kan bidra till en mer hållbar avfallshantering. I projektet har man bl.a. uppskattat ifrån vilken bransch plastavfall uppkommer.
- SMED: På uppdrag av Naturvårdsverket tar IVL fram avfallsstatistik. I 2012 års projekt kommer bl.a. en flödesbild för avfallsplast att tas fram. Denna förväntas att bli klar under våren 2012.

- HÅPLA: Hållbar återvinning av plattskärmar, är ett projekt finansierat av Vinnova. Projektet (2010-mars 2013) studerar några olika vägar att återvinna eller återanvända delar och material ur plattskärmar, som ännu utgör endast en liten del av WEEE-flödet men kommer att öka markant de kommande åren. Plast studeras endast översiktligt i systemanalyser. Möjlig förekomst av farliga ämnen i plast berörs endast som ett kriterium för separat sortering, men studeras inte i detalj.
- Inom ett screeningprojekt 2011 för Naturvårdsverket studerar IVL förekomst av PBDFs och nya bromerade flamskyddsmedel i miljön. Fokus ligger på spridningsvägar av dessa ämnen och man utför mätningar bland annat vid återvinningsanläggning, plasttillverkningsindustri och anläggning för hantering av elektronikavfall.
- ELV DEMON: Syftet med projektet, som är en förstudie under våren 2012 som drivs av IVL och Chalmers Industriteknik tillsammans med bildemonterare m.fl., är att utvärdera hur man kan erhålla en ökad lönsamhet och återvinningsgrad vid demontering av uttjänta bilar. Studien täcker både plastdetaljer och detaljer i andra material.

Diskussion och slutsatser

Kunskap och kontroll för olika plasttyper och produkter

Ett av målen med föreliggande studie var att försöka dela in plasttyper och produkter i tre olika kategorier utifrån kunskap och kontroll avseende risker på grund av farliga ämnen vid materialåtervinning:

- Plasttyper och produkter där vi har kunskap och kontroll
- Plasttyper och produkter där vi har kunskap men fortfarande inte tillräcklig kontroll
- Plasttyper och produkter som inte innehåller farliga ämnen eller där risken för spridning/exponering är liten

I dagsläget och på basis av de genomgångna studierna finns inte ett tillräckligt underlag för att göra en sådan kategorisering på ett heltäckande vis. Några delar av en sådan kategorisering går dock att beskriva:

- I Sverige materialåtervinns inte plast från uttjänt elektronik, uttjänta fordon eller bygg- och rivningsavfall i någon större omfattning (Retegan m.fl. 2010; Jonsson och Felix 2010). Därför är risken för spridning av farliga ämnen från just den processen liten. Däremot sker sortering och fragmentering, processer som skulle föregå materialåtervinning, av plasten och det kan generera emissioner (se t.ex. Retegan m.fl. 2010; Sakai m.fl. 2007).
- Det stora flödet till materialåtervinning är förpackningsplast (SRI 2010; Plastics Europe 2010). För denna plast har vi i litteraturen inte funnit information om att återvinning skulle begränsas på grund av innehåll av farliga ämnen. Förpackningar har en kortare livscykel än till exempel byggmaterial eller fordon vilket innebär att förbjudna ämnen bör kunna fasas ut relativt snabbt. Förpackningar som blir avfall i Sverige kommer dock från en global marknad vilket gör att ämnen som inte tillåts användas i Sverige eller EU fortfarande kan finnas i förpackningsplasten. Förpackningsplast med sin relativt korta livslängd bör dock innehålla mindre mängder additiv eftersom plasten inte behöver vara lika beständig jämfört med plaster som används i applikationer som används under en längre tid och som ställer högre krav på plasten.
- Produktionsspill är plastavfall där kunskapen om innehåll och egenskaper är god. Här är möjligheterna till materialåtervinning stora.

- Huruvida materialåtervinning av övriga typer av plast, t.ex. i hushållsartiklar annat än elektronik, jordbruksemballage etc. skulle begränsas av förekomst av farliga ämnen har inte beskrivits i den litteratur som ingick i föreliggande projekt.
- Plastprodukter som används i Sverige kommer också från en global marknad och kan således vara tillverkade av återvunnen plast. Huruvida användning av produkter av återvunnen plast skulle generera en större risk för exponering av farliga ämnen har vi inte kunnat dra några slutsatser om utifrån den litteratur som ingick i föreliggande projekt.
- Litteraturen om materialåtervinning av plast och farliga ämnen har stor fokus på plast i elektriska och elektroniska produkter och dess innehåll av bromerade flamskyddsmedel. Detta finns det idag relativt god kunskap om och man har också metoder för att sortera ut denna plast. Innehållet av farliga ämnen i plasten varierar dock mycket, vilket gör att det, trots god kunskap, är svårt att säkert veta att all plast innehållande farliga ämnen sorteras ut. Det finns också metoder för att separera bromerade flamskyddsmedel från själva plasten. Dessa metoder tillämpas inte i Sverige och tycks inte vara tillämpliga för användning i industriell skala vid dagens återvinningsanläggningar (Schlummer m.fl. 2007). Materialåtervinning av plast från avfall av elektroniska och elektriska produkter bör vara möjlig i Sverige men för att helt förhindra att de nya produkterna innehåller farliga ämnen krävs god kunskap hos återvinnarna och kostnadseffektiva lösningar för att kunna identifiera och sortera ut plaster innehållande farliga ämnen.
- Generellt är spårbarheten för plastkomponenter, och kopplat till detta även kunskapen om innehållet i plaster, relativt dålig. Inte minst har återvinnare svårigheter att känna till vad olika plast innehåller. Detta är av betydelse inte bara för förekomsten av farliga ämnen, utan också andra additiver m.m., t.ex. krita, då möjligheten till materialåtervinning påverkas av detta.
- Inom byggbranschen genereras plastavfall både vid nybyggnation och vid rivning. Det förra lämpar sig för materialåtervinning eftersom man där bör ha relativt god kunskap om plastens innehåll. Eftersom byggnader har så lång livslängd är det svårare med kontroll av innehåll i plasten i rivningsavfall.
- Förutom bromerade flamskyddsmedel som nämns ofta i litteraturen beskriver man också att tungmetaller kan ingå i plasten som additiv men som också kan förorena plasten vid fragmentering av plast om metall finns inblandat i materialet, t.ex. kablage (se t.ex. Schlummer m.fl. 2007). Denna risk för förorening visar på vikten av noggrann sortering innan plasten som ska materialåtervinnas fragmenteras.
- En annan aspekt, som lyftes fram i samtal med återvinnarna, var att materialåtervinning av plast kan begränsas om plasten får ett nytt användningsområde. Man nämner t.ex. att plast från motorhuven i bilar inte bör användas till köksredskap eftersom den kan innehålla cancerogena ämnen.

Behov av mer kunskap

För att materialåtervinna fler typer av plast än vad som görs idag behöver man ha en god bild av flöden av plaster och vilka farliga ämnen dessa innehåller, även i importerade varor. Det finns behov av en mer detaljerad kartläggning än vad som varit möjlig i föreliggande studie.

Underlaget till denna studie har ofta haft ett fokus på bromerade flamskyddsmedel och till viss del tungmetaller. Huruvida andra organiska ämnen, som till exempel vissa mjukgörare, kan begränsa möjligheterna till materialåtervinning bör studeras vidare. Identifiering av plast som innehåller t.ex. ftalater försvåras av att man inte kan använda sig av samma metoder som man använder för att identifiera brominnehållande plast, t.ex. röntgendiffraktion (XRF). Här finns förutom mer detaljerade litteraturstudier och eventuellt studier som inkluderar mätningar således också ett teknikutvecklingsbehov. Det är av vikt att i en sådan studie att först identifiera vilka ämnen som kan begränsa materialåtervinningen på grund av sin farlighet eftersom ämnen inom t.ex. gruppen mjukgörare har olika egenskaper.

I dagsläget sorterar man ut brominnehållande plast för att ta bort plast med bromerade flamskyddsmedel. Teknisk utveckling för att på ett kostnadseffektivt sätt identifiera vilken flamskyddsmedel plasten innehåller och även för att kunna separera flamskyddsmedlet från plasten skulle göra det möjligt att materialåtervinna mer plast och med bättre kvalitet från elektriskt och elektroniskt avfall.

I plastprodukter av jungfrulig plast migrerar icke reaktiva tillsatser medan reaktiva tillsatser i mindre utsträckning lämnar plasten. Ändras migrationsbeteende från återvunnen plast? Det finns ett behov av ytterligare studier för att se om exponeringsrisken är större vid användning av återvunnen plast.

I föreliggande studie gjordes intervjuer med ett antal aktörer inom återvinnings och tillverkningsbranschen. En mer omfattande intervjustudie skulle kunna visa på om kunskapsnivån varierar mycket inom branschen och var det finns behov av ny kunskap.

Förpackningsmaterial av plast materialåtervinns idag och huruvida denna återvinning begränsas av plastens innehåll av farliga ämnen berörs inte i den studerade litteraturen. Eftersom detta är ett stort plastflöde skulle studier av återvunnen plast från förpackningar vara intressant för att identifiera, eller avskriva, eventuella risker på grund av innehåll av farliga ämnen.

Referenser

Litteratur

- Bibi, M., 2011. Determination of antioxidants and UV stabilizers in various plastics, M.Sc. Thesis, IVL and Stockholm University.
- Bilitewski, B., R.M. Darbra, D. Barceló. 2011. The Handbook of Environmental Chemistry - Global Risk-Based Management of Chemical Additives I: Production, Usage and Environmental Occurrence.
- Bilitewski, B., R.M. Darbra, D. Barceló. 2012. The Handbook of Environmental Chemistry - Global Risk-Based Management of Chemical Additives II (under produktion)
- BIL Swedens hemsida. Bilskrotning under 2010.
http://www.bilsweden.se/ny_statistik/bilskrotning_2/arkiv_1999-2007_4_1_1/bilskrotning_under_2010 2012.01.27
- Dimitrakakis E, Janz A, Bilitewski B, Gidaracos E. J, Small WEEE: determining recyclables and hazardous substances in plastics. Hazard Mater. 2009 Jan 30;161(2-3):913-9.
- Franz R., Mauer A. och Welle F. 2004. Abstract. European survey on post-consumer poly(ethylene terephthalate) (PET) materials to determine contamination levels and maximum consumer exposure from food packages made from recycled PET. Food Additives and Contaminants, Volume 21, Number 3, pp. 265-286(22)
- Gesing A.J., "ELVs: How they fit in the global material recycling system and with technologies developed for production or recycling of other products and material", Gesing Consultant Inc. Presented at the 6th International Automobile Recycling Congress IARC 2006, March 15-17, 2006, Amsterdam, Netherlands. 2006.
- Jonsson, C and Felix, J. The Use of Brominated Flame Retardants in Automotive and Construction Materials and the Treatment of Such Materials in the Waste Stream – a Swedish perspective. Report to the Swedish Environmental Protection Agency November, 2010.
- KemIs hemsida. Användning av ftalater i kemiska produkter i Sverige.
<http://kemi.se/sv/Innehall/Statistik/Kortstatistik/Kortstatistik-over-amnen-och-amnesgrupper/Ftalater/> 2012.01.27
- Lithner D. (2011) Environmental and health hazards of chemicals in plastic polymers and products. Avhandling. Göteborgs universitet. Naturvetenskapliga fakulteten
- Miljöstylningsrådet Rapport 2010:6 kemikalier i elektroniska och elektriska produkter.
- Naturvårdsverket 2011a. Recycling and disposal of electronic waste Health hazards and environmental impacts. NV rapport 6417.
- Naturvårdsverket 2011b. Low POP Content Limit of PCDD/F in waste - Evaluation of human health risks. NV rapport 6418.

- Naturvårdsverket 2010. Avfall i Sverige 2008. NV rapport 6362
- Plastics Europe. 2010. Plastics – the Facts 2010 An analysis of European plastics production, demand and recovery for 2009.
- Retegan, T., Felix, J., and M. Schyllander, “Recycling of WEEE Plastics Containing Brominated Flame Retardants – a Swedish perspective”. Report to the Swedish Environmental Protection Agency, April 2010.
- Riess, M., Ernst, T., Popp, R., Müller, B., Thoma, H., Vierle, O., Wolf, M., van Eldik, R., 2000. Analysis of flame retarded polymers and recycling materials. *Chemosphere* 40, 937–941 citerad i Schlummer M, Gruber L, Mäurer A, Wolz G, van Eldik R. 2007. Characterisation of polymer fractions from waste electrical and electronic equipment (WEEE) and implications for waste management. *Chemosphere*; 67(9):1866-76.
- Sakai S.-I., Noma Y., Kida A.; “End-of-life vehicle recycling and automobile shredder residue management in Japan”, *Journal of Material Recycling Waste Management* 9:151-158. 2007.
- Schlummer M, Gruber L, Mäurer A, Wolz G, van Eldik R. 2007. Characterisation of polymer fractions from waste electrical and electronic equipment (WEEE) and implications for waste management. *Chemosphere*; 67(9):1866-76.
- Sjödin A, Hagmar L, Klasson-Wehler E, Kronholm-Diab K, Jakobsson E and Bergman Å, Flame Retardant Exposure: Polybrominated Diphenyl Ethers in Blood from Swedish Workers, *Environmental Health Perspectives*, Vol. 107, No. 8 (Aug., 1999), pp. 643-648
- Strömberg E. och Karlsson S. 2007. Kvalitetssäkring av återvunnen plast – emissioner från materialen
- SRI 2008. 10 actions to boost recycling of plastic. The Swedish Recycling Industries’ Association. www.recycling.se
- UNEP 2005. E-waste the hidden side of IT equipment’s manufacturing and use. *Environment Alert Bulletin* 5, January 2005, United Nation Environmental Program, Nairobi, Kenya citerad i Naturvårdsverket 2011a. Recycling and disposal of electronic waste Health hazards and environmental impacts. NV rapport 6417.
- Westerdahl, J., Andersson, P.L., Fuhrman, F., Haglund, P., Hallberg, E., Holmgren, T., Molander, S., Öman, A., Rydberg, T., Tivander, J., National inventory of emissions of additives from plastic materials, ChEmiTecs report P4-D4, June 2010

Personlig kommunikation

Följande personer har kontaktats för intervjuer, av de tio kontaktade har åtta svarat på våra frågor. Vilka svar som kommer från vilka aktörer kan inte utläsas i texten, i enlighet med önskemål från branschen. Därför har vi också valt att lista alla företag vi kontaktat, även de som inte svarat.

- Andersson Andreas, VOLVO Personvagnar AB
- Bjälkvall Lars, Lenovo (Sweden) AB, Miljöchef
- Eriksson Henrik, Polykemi AB, Utvecklingschef
- Holmqvist Johan, Sony Ericsson
- Lekbeck Mikael, Sims Recycling Solutions AB, Miljö- och kvalitetschef
- Lundberg Lena, Pontus Alm, Plast- och Kemiföretagen
- Olofsson Marcus, Rondoplast AB, Försäljning
- Sabel Jörgen, Swerec AB, VD
- Sahleström Britt, återvinningsindustrierna, VD
- Sjölin Sverker, Christer Forsgren m.fl., Stena Technoworld, Utveckling och teknisk support