



**KTH Arkitektur  
och samhällsbyggnad**

Robusta och flexibla strategier för  
utnyttjande av energi ur avfall

GÖRAN FINNVEDEN  
ANNA BJÖRKLUND  
MARKUS CARLSSON REICH  
OLA ERIKSSON  
ADRIENNE SÖRBOM

TRITA-INFRA-FMS 2005:2  
ISSN 1652-5442

Centrum för miljöstrategisk forskning – fms  
Drottning Kristinas väg 30  
100 44 Stockholm  
[www.infra.kth.se/fms](http://www.infra.kth.se/fms)

# **Robusta och flexibla strategier för utnyttjande av energi ur avfall**

Göran Finnveden<sup>1,2</sup>, Anna Björklund<sup>1</sup>, Markus Carlsson Reich<sup>3</sup>, Ola Eriksson<sup>4</sup> och Adrienne Sörbom<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Centrum för miljöstrategisk forskning – fms, KTH, 100 44 Stockholm

<sup>2</sup>Institutionen för miljöstrategiska studier, FOI, 172 90 Stockholm.

<sup>3</sup>Naturvårdsverket, 106 48 Stockholm

<sup>4</sup>Avdelningen för byggnadskvalitet, Högskolan i Gävle, 801 76 Gävle

<sup>5</sup>Sociologiska Institutionen, Stockholms Universitet, 106 91 Stockholm

## Sammanfattning

Avfallsfrågor engagerar. Det är någonting som berör människor i deras vardag och det är kanske ett skäl till att vi då och då får uppblående debatter om hur vi ska hantera avfall. Beslut och investeringar inom avfallsområdet kan få långsiktiga konsekvenser. En avfallsförbränningspanna är exempelvis en stor och långsiktig investering. Samtidigt lever vi i en föränderlig värld. Avfallspolitiken har förändrats både i Sverige och internationellt och man kan förvänta sig fortsatta förändringar. Kombinationen av långsiktiga beslut med en osäker framtid och det engagemang som finns kring avfallsfrågor, gör det intressant att söka lösningar som är flexibla och robusta. Med flexibla menar vi att de bör kunna anpassas efter eventuella förändringar i omgivningen så att man inte bygger in sig i återvandsgränder. Med robusta menar vi dels att lösningarna och strategierna ska vara någorlunda bra i olika tänkbara framtidsscenarier, dels att de är någorlunda bra både med avseende på miljöfaktorer, ekonomiska aspekter och att det finns en social acceptans för dem. En utgångspunkt är alltså att lösningar som bara uppfyller kraven för en eller ett par av dessa dimensioner inte är intressanta. Den här rapporten har som syfte att sammanfatta och syntetisera resultaten från ett flerårigt projekt finansierat av Energimyndigheten. Syftet med projektet var att diskutera och föreslå flexibla och robusta strategier för utnyttjande av energi ur avfall.

I rapporten görs en genomgång av ett antal olika studier där man har jämfört återvinning med förbränning, biologisk behandling och deponering. Jämförelserna görs med avseende på miljöegenskaper samt ekonomi. Vidare redovisas en genomgång av beteendevetenskapliga studier. Bland slutsatserna finns att en robust avfallsstrategi bör innehålla dessa komponenter:

- en ökning av materialåtervinning exempelvis av plaster, papper, metaller och glas
- förbränning av sådant som kan klassas som biobränslen
- förbränningsanläggningar bör vara utrustade för kraftvärme och för att kunna ta emot en varierad blandning av fasta bränslen
- deponering av avfall som ej kan behandlas på annat sätt och möjligen av svårnedbrytbara plaster
- rötning av vissa väldefinierade fraktioner
- lättillgänglig källsortering hos konsumenter
- ökad källsortering i näringslivet

Inom avfallsområdet finns det ett antal olika styrmedel. Samtidigt kan man notera att det finns luckor i styrmedelspaketet. Förutom producentansvaret finns exempelvis inga styrmedel som styr mot ökad återvinning av material. Vidare finns det få styrmedel som tydligt styr mot minskade avfallsmängder. Det finns därför ett behov av nytänkande inom styrmedelsområdet. En kombination av ekonomiska styrmedel som styr mot uppsatta miljömål skulle sammanfattningsvis kunna vara:

- En förbränningsskatt som jämställer beskattningen av de fossila delarna av avfall med andra fossila bränslen och som ger undantag för avfall med biologiskt ursprung.
- En viktsbaserad förbränningsskatt som styr mot ökad återvinning av papper samt biologisk behandling.
- En motsvarande ökning av deponiskatten.
- Ett stöd till biogasanvändning.

För att öka källsorteringen bör de ekonomiska styrmedlen slå igenom även hos konsumenterna. Man bör dock inte bara använda ekonomiska styrmedel utan även arbeta med information, stödande fysiska strukturer (exempelvis fastighetsnära insamlingsystem) samt

utforska olika typer av positiva styrmedel t.ex. olika former av bonus- eller återbäringssystem. Styrmedel behöver också riktas mot olika delar av näringslivet för att stimulera deras källsortering.

Sammanfattning .....	2
Inledning.....	6
Miljöaspekter för olika avfallsbehandlingsmetoder.....	6
Miljöaspekter av olika bränsleval vid nyinvesteringar .....	9
Ekonomiska aspekter.....	10
Beteendevetenskapliga studier .....	10
Miljöanalys av skatt på förbränning av avfall.....	10
Geografiska aspekter .....	12
Om olika strategier .....	12
Något om styrmedel .....	14
Publikationer från projektet.....	16
Övriga referenser.....	17

## ***Inledning***

Avfallsfrågor engagerar. Det är någonting som berör människor i deras vardag och i alla kulturer och det är kanske ett skäl till att vi då och då får uppblående debatter om hur vi ska hantera avfall.

Avfallsfrågor ses ofta ur ett miljöperspektiv. Det är intressant att studera hur stor del av Sveriges totala miljöpåverkan som orsakas av avfall. Även om det inte är helt lätt att svara på, eftersom det beror på vilka miljöproblem vi talar om och hur vi avgränsar avfallssystemet, pekar en del studier mot att avfallssystemet står för storleksordningen någon eller några procent av Sveriges miljöproblem (Finnveden et al, 2000, Sundqvist et al, 2002b, Palm et al, 2002). För specifika emissioner kan avfall stå för en större andel. Avfallsfrågor är alltså mindre allvarliga än exempelvis bostäder, energi, livsmedel och trafik. Icke desto mindre utgör ändå avfallshantering ett substantiellt bidrag till vissa miljömål, exempelvis målet att minska gaser som bidrar till växthuseffekten med några procent fram till 2010 (Finnveden et al, 2000). Avfallsområdet i sig har också miljömål som i dagsläget är svåra att nå. Ett mål är att mängden avfall inte ska öka, men idag ökar bl a mängden hushållsavfall (Prop., 2005).

Även ekonomiskt är avfallshantering intressant, inte bara för avfallsbranschen. Idag står exempelvis avfall för ca 10-15 % av fjärrvärmens i Sverige, en andel som kommer att öka kraftigt under de kommande åren (Eriksson, 2004). Även för elproduktion ökar intresset för avfall som bränsle. För återvinningsindustrierna är avfall själva råvaran. Även övriga delar av näringslivet är berörda av avfallsfrågor eftersom olika branscher producerar eget avfall som kan vara både ekonomiskt och miljömässigt av betydelse.

Beslut och investeringar inom avfallsområdet kan få långsiktiga konsekvenser. En avfallsförbränningspanna är exempelvis en stor och långsiktig investering. Samtidigt lever vi i en föränderlig värld. Avfallspolitiken har förändrats både i Sverige och internationellt och man kan förvänta sig fortsatta förändringar. Även berörda marknader förändras. Ett exempel är elmarknaden vars långsiktiga utveckling är svåröversäglig.

Kombinationen av långsiktiga beslut med en osäker framtid och det engagemang som finns kring avfallsfrågor, gör det intressant att söka lösningar som är flexibla och robusta. Med flexibla menar vi att de bör kunna anpassas efter eventuella förändringar i omgivningen så att man inte bygger in sig i återvändsgränder. Med robusta menar vi dels att lösningarna och strategierna ska vara någorlunda bra i olika tänkbara framtidsscenarioer, dels att de är någorlunda bra både med avseende på miljöfaktorer, ekonomiska aspekter och att det finns en social acceptans för dem. En utgångspunkt är alltså att lösningar som bara uppfyller kraven för en eller ett par av dessa dimensioner inte är intressanta. För att vara långsiktigt hållbara måste lösningarna vara acceptabla i alla dimensioner av en hållbar utveckling.

Den här rapporten har som syfte att sammanfatta och syntetisera resultaten från ett flerårigt projekt finansierat av Energimyndigheten inom ramen för dess forskningsprogram Energi ur avfall. De olika publikationerna från projektet finns listade i slutet på rapporten. Syftet med projektet var att diskutera och föreslå flexibla och robusta strategier för utnyttjande av energi ur avfall. Tonvikten i projektet har legat på miljöaspekter men även sociala och ekonomiska aspekter har berörts.

## ***Miljöaspekter för olika avfallsbehandlingsmetoder***

En mängd olika studier har genomförts där man jämför olika avfallsbehandlingsmetoder. Det har dessutom publicerats ett antal olika synteser där man jämför resultaten från olika studier

(exempelvis Finnveden and Ekvall (1998), Ekvall and Finnveden (2000), Sundqvist et al (2002a och 2002b), Björklund and Finnveden (2002, 2005) samt Profu (2004)).

I en av dessa studier gjordes en syntes av de systemstudier som finansierats av Energimyndigheten inom forskningsprogrammet Energi ur avfall. Några av slutsatserna från den studien var att (Sundqvist et al, 2002a):

- Deponering av avfall som kan förbrännas, rötas, komposteras eller materialåtervinnas är i allmänhet ett sämre alternativ än andra behandlingsformer ur både ett miljömässigt och ekonomiskt perspektiv.
- Rötning och förbränning av nedbrytbart avfall från hushållen är svåra att jämföra. Ingendera är entydigt miljömässigt bättre än det andra.
- Kompostering (strängkompostering) av lättnedbrytbart avfall har nästan inga miljömässiga fördelar gentemot förbränning.
- Materialåtervinning är generellt miljömässigt bättre än förbränning.

I senare studier har vi gjort en genomgång av livscykelanalyser som jämfört återvinning med förbränning och/eller deponering av material i hushållsavfall (Björklund and Finnveden, 2002 and 2005). Vi avgränsade genomgången till studier som publicerats i internationella vetenskapliga tidskrifter och fokuserade på parametrarna total energianvändning och emissioner av växthusgaser. Syftet med studien var att undersöka om olika studier gav likartade resultat och om man kunde identifiera några nyckelaspekter av betydelse för resultaten. Några av resultaten sammanfattas nedan:

- Resultaten är påfallande ofta samstämmiga och skillnader kan förklaras med hjälp av identifierade nyckelfaktorer.
- Återvinning sparar mer energi än förbränning och deponering, med undantag av då återvunnen plast ersätter impregnerat trä istället för jungfrulig plast.
- Återvinning ger i allmänhet lägre emissioner av växthusgaser än förbränning och deponering. Undantagen är två: då återvunnen plast inte ersätter jungfrulig plast och då förbränning av papper konkurrerar med fossila bränslen, I det senare fallet kan återvinning leda till antingen minskade eller ökade emissioner av växthusgaser, bland annat beroende på pappersmaterial och bränsleval vid pappers- och massabruken.
- Förbränning sparar mer energi än deponering.
- Förbränning ger mindre emissioner av växthusgaser än deponering med ett undantag: för plaster ger deponering mindre emissioner av växthusgaser, åtminstone på kort sikt.

Av stor betydelse för resultaten är alltså vad som händer med återvunnen plast och vilka bränslen avfall konkurrerar med. Carlsson (2002) har studerat hur dagens återvunna plast används och finner att den i huvudsak ersätter jungfrulig plast.

Vad som kan vara det konkurrerande bränslet kan studeras i tre olika tidsperspektiv (Ekvall and Finnveden (2000)):

- Dagens situation med nuvarande anläggningar.
- Ett medellångt tidsperspektiv där det finns möjligheter att investera och bygga nya anläggningar
- Ett långsiktigt hållbarhetsperspektiv

Låt oss börja med en kommentar om det korta tidsperspektivet. I Sverige ska deponering av brännbart avfall avvecklas, men förekommer fortfarande (2005) eftersom det finns brist på förbränningskapacitet. Det innebär att det konkurrerande bränslet i dagens situation i allmänhet är annat avfall som annars skulle deponeras. Det innebär att om vi kan återvinna mer material, kommer det leda till att mindre material deponeras, samtidigt som den totala mängden avfall som förbränns är konstant. I ett längre tidsperspektiv (antagligen redan om några år när dispensdeponeringen har upphört) kommer detta inte att vara aktuellt för svenskt avfall. Om vi däremot tar hänsyn till möjligheterna av import och export av avfall, är det möjligt att deponerat avfall kan fortsätta att vara det konkurrerande bränslet även i ett längre framtidsperspektiv. Även om trenden i Europa generellt är att minska deponeringen så kan det ta decennier innan deponering av brännbara avfall försvinner. Om Sverige kommer att få en import eller export av avfall (eller ingen handel alls) beror på priser för olika behandlingsalternativ i olika länder, men också på politiska beslut gällande handel med avfall.

Med avseende på denna studie är det emellertid framför allt det medellånga perspektivet som är av intresse, eftersom det handlar om långsiktiga strategier rörande investeringar och styrmedel. Det kan också vara relevant att fundera över det tredje tidsperspektivet så att man inte bygger in sig i system som inte är långsiktigt hållbara.

I en licentiatavhandling från Chalmers diskuterar Sahlin konsekvenser på energisystemet av en utbyggd avfallsförbränning (Sahlin, 2003). Genom enkäter och modellsimuleringar har Sahlin med kolleger studerat hur stor expansion av avfallsförbränning som planeras och vilka andra bränslen denna expansion ersätter. Expansionsplanerna ligger på 6-7 TWh. Värmen från avfallsförbränning förväntas ersätta biobränsle (ca 3.5 TWh), fossila bränslen (ca 1 TWh), spillvärme (0.4 TWh), värmepumpar (0.4 TWh), el (ca 0.5 TWh) och bränslen utanför fjärrvärmesystemet på grund av expansion (0.9 TWh). Ökad avfallsförbränning leder dels till minskad användning av andra anläggningar och dels till minskade investeringar i andra anläggningar. För investeringar konkurrerar avfallsförbränning i första hand med förbränning av biobränslen. Ökad avfallsförbränning leder också till en minskad potential för elproduktion i kraftvärmeverk, eftersom elverkningsgraden för avfallsförbränning är lägre än för andra bränslen.

För det medellånga tidsperspektivet tyder mycket alltså på att avfallsförbränning i första hand konkurrerar med biobränslen i fjärrvärmesystemet. I en sådan situation är återvinning tumregelmässigt att föredra framför förbränning enligt ovan.

På sikt kan dock även andra bränslen konkurrera med avfall i fjärrvärmesystemet. Beroende på priser, tillgångar och klimat- och energipolitik kan exempelvis naturgas vara ett alternativ i vissa situationer. Även om avfall konkurrerar med naturgas så är återvinning generellt miljömässigt bättre för exempelvis plaster och metaller enligt ovan. För olika pappersmaterial beror resultaten bland annat på vad som händer med den biomassa som inte används för jungfrulig pappersproduktion om pappret i stället återvinns. Om denna biomassa kan användas som biobränsle så är återvinning tumregelmässigt miljömässigt bättre. Om biomassan inte används beror resultaten bland annat på val av bränsle vid återvinningsbruken och vilken papperskvalitet det handlar om.



I ett längre hållbarhetsperspektiv kan vi antagligen inte använda fossila bränslen på samma sätt som idag. Det kan därför finnas skäl att tro att det i första hand är förnybara energislag som konkurrerar med avfall även i detta tidsperspektiv.

Mycket tyder alltså på att biobränsle eller andra förnybara bränslen är de energislag som i första hand konkurrerar med avfall. Detta gynnar i så fall materialåtervinning av samtliga materialslag både på medellång och lång sikt. På medellång sikt kan man även tänka sig att naturgas konkurrerar med avfall, vilket i så fall kan gynna förbränning av vissa pappersfraktioner, men för andra materialslag är fortfarande materialåtervinning gynnat.

I studier av det här slaget finns alltid olika typer av begränsningar som gör att man bör tolka resultaten med försiktighet. Exempelvis finns en del dataluckor kanske framför allt för emissioner av toxiska ämnen. Risker förknippade med en diffus spridning av kemikalier genom återanvändning av plaster finns exempelvis inte med i dessa studier. Dock finns inga undersökningar som indikerar att sådana risker skulle vara större än de risker man undviker genom minskad användning av råvaror, vilket i sin tur leder till minskade emissioner av toxiska ämnen.

### ***Miljöaspekter av olika bränsleval vid nyinvesteringar***

Eftersom fjärrvärmesystemen i många delar av Sverige fortfarande expanderar, är det intressant att studera miljöeffekterna av olika val av bränslen och typer av pannor. I en studie (Eriksson et al, 2005) jämförde vi med hjälp av livscykelanalyser tre olika sorters bränslen: avfall, biobränsle och naturgas. För avfall och biobränsle ingick både kraftvärme- och ren fjärrvärmeproduktion i analysen, medan naturgas endast analyserades för kraftvärmeproduktion. För avfall tittade vi bara på den fraktion av avfallet som kan återvinnas eller förbrännas.

Vid kraftvärmeproduktion antog vi att den producerade elen ersätter den el som produceras på marginalen i det svenska elnätet. Ovan diskuterade vi vilka bränslen avfall konkurrerar med i fjärrvärmesystemet men nu gäller frågan vilken elproduktion som avfall, biobränsle och naturgas konkurrerar med om man förutom fjärrvärme även producerar el från dessa bränslen. Vi identifierade två tänkbara scenarier för marginalproduktion av el, tagna från en studie av Mattson et al (2005). Ett av scenarierna byggde på höga naturgaspriser, med ganska mycket kol som marginalbränsle. Det andra scenariot byggde på antagandet att ett CO<sub>2</sub>-tak satts för elsystemet. Det innebär att man använder fossila bränslen upp till taknivån, men därutöver används i första hand icke-fossila bränslen på marginalen.

Om avfall används som bränsle, innebär det att förbränningen ersätter någon annan behandlingsmetod. En viktig fråga är då vilken behandlingsmetod som ersätts. Vi valde två tänkbara scenarier. I det ena är det olika typer av återvinning och biologisk behandling som ersätts av förbränningen. I det andra är det deponering i andra länder som ersätts. Det senare scenariot bygger alltså på tillräckligt stor import och/eller export av avfall till och från Sverige.

Resultaten från studien visar att kraftvärme är att föredra framför bara fjärrvärmeproduktion, oavsett bränsle. Resultaten för avfall och naturgas varierar beroende på antagandena om marginalproduktion av el och vilken behandlingsmetod som ersätts av avfallsförbränning. Avfallsförbränning är ett bra alternativ om det ersätter deponering men inte om det ersätter återvinning. Naturgas är ett bra alternativ om producerad el ersätter en fossilrik elproduktion men inte i scenariot med CO<sub>2</sub>-tak och icke-fossila bränslen på marginalen. Det innebär att en

satsning på naturgas inte är kompatibel med en politik som sätter ett tak på emissionerna av växthusgaser. Biobränslen är dock ett alternativ som är någorlunda okänt för olika antaganden i olika scenarier och därmed ett robust alternativ.

### **Ekonomiska aspekter**

En mängd olika ekonomiska analyser om ekonomiska för- och nackdelar med olika avfallshanteringssystem har genomförts. Carlsson Reich (2003) har gjort en syntes av dessa. Den pekar mot stora skillnader i olika undersökningar vilket gör det svårt att dra några entydiga slutsatser. Ett exempel på data som har använts är från 2001 års avfallsskatteutredning (SOU, 2002), där följande data används:

Tabell 1: Behandlingskostnader i kr/ton (SOU, 2002)

Behandlingsmetod	Lågt värde	Högt värde
Förbränning	200	700
Rötning	500	1700
Kompostering	250	1000
Deponering	100	700
Materialåtervinning	50	3000
Merkostnad insamling källsorterat organiskt avfall	400	400

Man kan notera den stora spridningen. Speciellt för materialåtervinning finns en stor spridning beroende på olika kostnader för olika materialslag.

Olika behandlingsmetoder har haft olika grader av teknikutveckling. Deponering och förbränning är etablerade tekniker. För kompostering, rötning och olika typer av materialåtervinning kan det finnas större möjligheter till teknikutveckling. Inte minst kan det finnas möjligheter till stordriftsfördelar och ökad automatisering inom exempelvis plaståtervinningen (Ny teknik, 2003).

Även för förbränning diskuteras tänkbara teknikutvecklingar som förgasning. Ekonomiska studier indikerar dock att det är tveksamt om de har fördelar jämfört med nuvarande förbränningstekniker (Olofsson, 2004).

### **Beteendevetenskapliga studier**

Inom det beteendevetenskapliga området har många studier genomförts som studerar människors beteenden och attityder till avfallshantering och källsortering. En litteraturstudie och syntes har gjorts av Sörbom (2003). En slående slutsats från litteraturstudien är att människor överlag faktiskt tycks vilja källsortera. En annan slutsats är att tillgängligheten i hög grad styr människors deltagande i källsortering. Här är närhet en nyckelfaktor. Det ska dessutom vara enkelt att sortera rätt vilket pekar på information om hur sorteringen ska göras är en viktig aspekt. En tredje slutsats är att ekonomiska morötter kan vara ett sätt att öka människors vilja att källsortera.

### **Miljöanalys av skatt på förbränning av avfall**

I den tidigare avfallsskatteutredningen (SOU, 2002) gjordes en del miljöbedömningar av förslagen. Vi har gjort en fördjupad miljöanalys av det förslaget (Björklund et al, 2003, Nilsson et al, 2005). I den studien analyserar vi avfallsskatteutredningens noll-alternativ som i

princip innebär att ingen förbränningsskatt införs men att övriga beslut på avfallsområdet genomförs (Alt 0), alternativet med en skatt på 400 kr/ton (Alt 1), samt två mer visionära alternativ (Alt 2a och 2b). I de senare har vi analyserat avfallshanteringssystem som vi bedömer som miljömässigt optimerade, baserat på resultat från tidigare studier. Den stora skillnaden jämfört med Alt 0 och Alt 1 är att vi antar höga (och jämna) återvinningsnivåer av alla återvinningsbara material. Skillnaden mellan Alt 2a och 2b är behandlingen av organiskt hushållsavfall som i Alt 2a förbränns och i Alt 2b rötas. Förbränning av avfall antas konkurrera med biobränsle. Avfallsflöden i de olika alternativen beskrivs i Tabell 2.

Tabell 2. Avfallsflöden för 2008 [Mton] i ett noll-alternativ, ett skattealternativ och två miljöoptimerade alternativ.

	Alt 0 – ingen skatt	Alt 1 – 400 kr/ton	Alt 2a – maximera energi utnyttjande	Alt 2b – minimera växthusgaser
Förbränning	4,0	3,8	3,3	2,6
Deponering	2,6	2,1	1,2	1,2
Rötning	0,4	0,6	0	0,7
Återvinning	2,4	3,0	5,0	5,0

I tabell 3 presenteras nettoresultaten för energianvändningen. Samtliga resultat är negativa, vilket innebär att man får ut mer energi ur alla studerade system än de förbrukar. Detta är möjligt genom att vi inte har räknat energin i det avfall som tas om hand som ett inflöde till systemet, eftersom det är lika i alla system. Skattealternativet (Alt 1) ger en liten energivinst jämfört med nollalternativet, men de mer visionära systemen ger större energivinster. Energivinsten i Alt 1 uppstår i första hand genom den i förslaget höjda deponiskatten, vilken antas leda till ökad återvinning på bekostnad av minskad deponering, snarare än införandet av en förbränningsskatt i sig. Skillnaden mellan Alt 2a och 2b är liten, den totala energivinsten är dock något större när matavfall förbränns.

**Tabell 3 1 Energisättning [MJ] och relativ förändring [%] jämfört med nollalternativet (Björklund et al, 2003)**

	Alt 0	Alt 1	Alt 2a	Alt 2b
Total energianvändning	-1.04E11	-1.07E11 (-3%)	-1.38E11 (-33%)	-1.37E11 (-32%)
Ej förnybar energi	-1.3E10	-1.54E10 (-19%)	-4.38E10 (-237%)	-4.6E10 (-246%)
Förnybar energi	-9.11E10	-9.11E10 (0%)	-9.86E10 (-8%)	-9.53E10 (-5%)

Förutom energianvändning tittade vi också på ett antal olika miljöeffekter: potentiellt bidrag till växthuseffekten, försurning, övergödning, bildning av marknära ozon, samt potentiella ekotoxiska och humantoxiska effekter. Tendensen var i allmänhet densamma som för energianvändningen, dvs alternativ 1 ger en liten förbättring jämfört med nollalternativet, men denna förbättring är liten jämfört med potentialen som den indikeras av de mer visionära scenarierna.

## **Geografiska aspekter**

Sverige är ett land med stora geografiska skillnader, både m a p befolkningstäthet och natur. Det kan därför finnas skäl att fundera över om man bör ha olika avfallshanteringssystem i olika delar av landet.

I studien om skatt på förbränning av avfall undersökte vi hur miljöeffekterna av olika avfallshantering kan variera beroende på om den införs i Skåne eller Norrland (Björklund et al, 2003). Vi antog därvidlag längre transportavstånd i Norrlandsfallet och tillämpade en platsberoende miljöpåverkansbedömning för några olika luftföroreningar. Även om storleken på miljöpåverkan förändrades i de två fallen så förändrades inte de allmänna slutsatserna för studien, vilket indikerar att det från miljösynpunkt inte finns anledning att ha olika policy i olika delar av landet.

En slutsats som har dragits från flera miljöbedömningar av olika avfallshanteringssystem är att transporter av avfall när det väl har samlats in har en begränsad betydelse (exempelvis Sundqvist et al, 2002b), även om det kan finnas undantag exempelvis i skärgård (Eriksson, 2003) och vissa andra typer av glesbygd. Däremot kan personbilstransporter till och från platser där man kan lämna ifrån sig avfall spela roll för slutresultaten (exempelvis Finnveden et al, 2000).

För den ekonomiska bedömningen kan transportavstånden vara av betydelse. I en nyligen publicerad artikel analyseras ekonomiskt optimala återvinningsnivåer för olika län i Sverige för wellpapp givet en total återvinningsnivå på 65 % (Berglund, 2004). Den optimala nivån varierar mellan 51 och 72 % vilket indikerar att ungefär samma (om än inte identiska) strategier kan användas i olika delar av landet.

Ibland diskuteras om det finns en optimal återvinning. Man kan tänka sig att om återvinningen ökar så kommer det att leda till ökad miljöpåverkan från insamlingen så att miljövinsterna försvinner. Resonemanget verkar rimligt, men det finns få publicerade studier som har lyckats identifiera ett sådant optimum. En intressant undantag är dock en studie av Schenk et al (2005) som studerat pappersåtervinning. Med avseende på energianvändning så finner de att för mekanisk massa så är optimal återvinning över 80 % och för kemisk massa över 90 %

## **Om olika strategier**

Materialåtervinning av plast, papper, metaller, glas med mera är i allmänhet att föredra ur miljösynpunkt. Det kan finnas enskilda situationer där andra alternativ är bättre, men som tumregel är materialåtervinning att föredra ur miljösynpunkt i alla de tre tidsperspektiv som diskuterades ovan. (Matavfall, trä och andra någorlunda rena biobränslefraktioner diskuteras vidare nedan). Detta stämmer också väl med bilden att i ett hållbart samhälle används återvunna material.

Syntesen om ekonomiska aspekter indikerar att materialåtervinning ofta är något dyrare än exempelvis förbränning, även om det finns osäkerheter. Det är därför av vikt att ställa frågan om återvinning kan vara för dyrt.

Avfallsförbränning är idag befriat från energi- och emissionsskatter. Det leder till att avfall som bränsle gynnas jämfört med andra bränslen. Det leder också till att förbränning av avfall gynnas jämfört med andra behandlingsmetoder. Denna effekt kan vara substantiell. Om förbränning av plastavfall belastades med koldioxid- och energiskatt skulle denna skatt motsvara över 3000 kr/ton avfall (SOU, 2005). Om en sådan skatt infördes skulle

plaståtervinningens konkurrenskraft öka kraftigt. Andelen fossila bränslen i avfall varierar men är i hushållsavfall ca 40 % av energiinnehållet och ca 15 % av vikten. Om avfall belastas med energi och koldioxidskatter för den fossila delen av avfallet så skulle det motsvara över 400 kr/ton osorterat hushållsavfall. Även denna nivå skulle kunna stärka materialåtervinningens konkurrenskraft. Dessa siffror antyder att om avfallsförbränning skulle belastas med miljökostnader på liknande sätt som andra bränslen, så skulle avfallsförbränning bli dyrare och då skulle inte återvinning framstå som lika dyrt. Om hänsyn också tas till möjligheterna för teknikutveckling och skalfördelar så är det fullt möjligt att återvinning kan betraktas som konkurrenskraftigt med förbränning.

Syntesen av beteendevetenskapliga studier indikerar att människors vilja att sortera är god och detta är något att ta fasta på. Med utgångspunkt från miljömässiga, ekonomiska och sociala faktorer bör en strategi för avfallshantering kunna ha som utgångspunkt att materialåtervinningen bör öka. De fraktioner som kan återvinnas från ett tekniskt och ekonomiskt perspektiv (det senare bör inkludera miljökostnader) bör återvinnas.

Sortering i något läge är en förutsättning för att varje fraktion ska kunna behandlas på bästa sätt. Som nämndes ovan är människors vilja att sortera god, men det kommer samtidigt alltid att finnas människor som inte kan eller vill sortera. Ett robust system måste därför kunna hantera även osorterat och felaktigt sorterat avfall. Både materialåtervinning och biologiska behandlingsmetoder ger dessutom upphov till restprodukter som behöver behandlas på något sätt. Förbränning och deponering har därför en roll att spela i ett utvecklat avfallshanteringssystem som behandlar av olika typer av fraktioner som är svåra att behandla på annat sätt.

För matavfall och andra organiska fraktioner står ofta valet mellan förbränning, kompostering, eller rötning. Miljöanalyserna indikerar att kompostering har få miljömässiga vinster jämfört med rötning och förbränning (se ovan). Det måste dock tilläggas att dessa analyser inte har tagit hänsyn till de fördelar kompostering och rötning kan ge genom recirkulering av mikronäringsämnen och tillförsel av mullämnen till marken. För att dessa fördelar ska förverkligas krävs dock att röt- och kompostrester får avsättning och kan återföras till mark där det ersätter andra gödnings- och markförbättrande produkter. Detta förutsätter rena avfallsfraktioner eftersom även små mängder miljögifter kan förorena stora mängder avfall. Det är därför tveksamt om storskalig kompostering har en plats i en robust avfallsstrategi. Småskalig kompostering, i form av egenkompostering eller mindre komposteringsanläggningar i glesbygd kan dock ha sin plats. Här kan man enklare ha kontroll över avfallet och dessutom lättare få användning för kompostresten. Rena fraktioner av exempelvis parkavfall där man lätt får avsättning för kompostresten kan möjligen också vara av intresse.

Rötning och förbränning är svåra att jämföra eftersom de har lite olika för- och nackdelar samt att miljöeffekterna av rötning beror mycket på ett antal olika val kring avfallsfraktioner, ersättningsbränslen med mera (exempelvis Berglund och Börjesson (2003) samt Börjesson och Berglund (2003)). För vissa avfall är rötning ett klart intressant alternativ, exempelvis stallgödsel och vissa avfall från livsmedelsindustrier. Hushållens matavfall kan i vissa fall tas in som ett biflöde i processerna. Börjesson och Berglund (2003) poängterar att ett införande av biogassystem kan leda till både positiva och negativa miljöaspekter vilket visar på vikten att utforma och lokalisera biogassystemen på ett optimalt sätt. Sannolikt har biogassystem sin största roll för rena avfallsfraktioner snarare än för matavfall från hushåll.

Förbränning har flera roller att fylla i en hållbar avfallsstrategi. Dels som mottagare av vissa avfallsströmmar där förbränning är den mest lämpliga behandlingsmetoden. Detta gäller exempelvis träavfall och kanske parkavfall och matavfall. Dessutom har förbränningsanläggningarna en roll för avfall som ej har blivit sorterat och för olika typer av restprodukter från materialåtervinning och biologiska behandlingar. För närvarande sker en stor utbyggnad av förbränningskapaciteten i Sverige.

Frågan om det finns en risk för att det byggs ut en överkapacitet av förbränningsanläggningar dyker dock upp ibland. Svaret på den frågan beror bland annat på vad man tror om kommande utveckling av avfallsvolymer, utveckling av andra avfallsbehandlingsmetoder samt utveckling av handel med avfall. Alla dessa faktorer är mer eller mindre osäkra. Det kan också finnas behov av att ha en viss överkapacitet för att kunna ta hand om avfall även i säsongsmässiga och konjunkturmässiga svängningar. Det är därför viktigt att konstruera pannor för maximal flexibilitet, dvs de bör kunna förbränna även andra typer av fasta bränslen. Lämpligt är också att bygga kraftvärme för att kunna vara flexibel också med avseende på produkterna från förbränning.

Deponering av avfall är för de flesta avfallsslag ett olämpligt alternativ. Fördelen med deponering är dock att man fördröjer emissioner, ibland i väldigt långa tidsperspektiv. För vissa avfallsfraktioner som inte är brännbara och som man inte kan återvinna är deponering det enda alternativet. Även för andra fraktioner skulle deponering i vissa fall kunna vara intressant. Exempelvis så leder deponering av plaster till minskade emissioner av växthusgaser jämfört med förbränning, åtminstone på kort sikt. Om man värderar sådana emissioner högt kan det därför finnas skäl att deponera plaster som är svåra att återvinna.

Sammanfattningsvis bör en robust avfallsstrategi innehålla följande komponenter (jämför även med de miljöoptimerade scenarierna i Tabell 0):

- en ökning av materialåtervinning exempelvis av plaster, papper, metaller och glas
- förbränning av sådant som kan klassas som biobränslen
- förbränningsanläggningar bör vara utrustade för kraftvärme och för att kunna ta emot en varierad blandning av fasta bränslen
- deponering av avfall som ej kan behandlas på annat sätt och möjligen av svårnedbrytbara plaster
- rötning av vissa väldefinierade fraktioner
- lättillgänglig källsortering hos konsumenter
- ökad källsortering i näringslivet

### ***Något om styrmedel***

Inom avfallsområdet finns det ett antal olika styrmedel. Samtidigt finns det luckor i styrmedelspaketet. Förutom producentansvaret finns exempelvis inga styrmedel som styr mot ökad återvinning av material. Vidare finns det få styrmedel som tydligt styr mot minskade avfallsmängder. Det finns därför ett behov av nytänkande inom styrmedelsområdet.

Våra resultat indikerar att en förbränningsskatt skulle ge miljövinster. Dock finns det större miljövinster att hämta hem och det finns därför anledning att fundera över styrmedel som kan leda oss i den riktningen.

För att gå mot en mer hållbar avfallshantering i linje med de mer visionära scenarierna i analysen av förslaget till förbränningsskatt, kan en förbränningsskatt som differentierar mellan olika avfallsfraktioner vara en möjlig väg. Den förra avfallsskatteutredningen föreslog att undantag skulle göras för avfallsslag som kunde betraktas som biobränslen. Ett förslag kan då vara att detta undantag utvidgas till alla avfall av biologiskt ursprung tex virke, papper och organiskt matavfall. En skatt kan då läggas som motsvarar en skatt för ett fossilt bränsle, och avdrag ges sedan för den andel av bränslet som motsvarar biobränslen. En sådan skatt skulle styra mot ökad återvinning för de material där miljövinster är som störst, dvs de icke förnybara.

En skatt som riktas mot förbränning av fossila material i avfall skulle inte styra mot ökad återvinning av papper eller mot biologisk behandling av avfall. För att styra i den riktningen kan en viktbaserad skatt vara användbar. En sådan skatt bör då kombineras med en höjning av deponiskatten vilket sannolikt har fördelen av att styra mot en ökad återvinning av en del material som idag deponeras. En skatt som styr mot ökad biologisk behandling kommer dock i första hand att styra mot ökad kompostering vilket enligt tidigare analyser har begränsade miljövinster jämfört med rötning. Det är därför bra om man kan kombinera detta med styrmedel som styr mot rötning snarare än kompostering. Kanske kan stöd till biogas-användning vara en framkomlig väg.

En kombination av ekonomiska styrmedel som styr mot uppsatta miljömål skulle sammanfattningsvis kunna vara:

- En förbränningsskatt som jämställer beskattningen av de fossila delarna av avfall med andra fossila bränslen och som ger undantag för avfall med biologiskt ursprung.
- En viktbaserad förbränningsskatt som styr mot ökad återvinning av papper samt biologisk behandling.
- En motsvarande ökning av deponiskatten.
- Ett stöd till biogasanvändning.

För att öka källsorteringen bör de ekonomiska styrmedlen slå igenom även hos konsumenterna. Man bör dock inte bara använda ekonomiska styrmedel utan även arbeta med information, stödande fysiska strukturer (exempelvis fastighetsnära insamlingssystem) samt utforska olika typer av positiva styrmedel t.ex. olika former av bonus- eller återbäringssystem. Styrmedel behöver också riktas mot olika delar av näringslivet för att stimulera deras källsortering.

Producentansvarsutredningen (SOU, 2001) konstaterade att det fanns behov av ett ökat producentansvar inom en rad olika områden. Däremot tyckte man inte då att det fanns anledning att införa ett lagstiftat producentansvar eftersom man ville avvakta en del frivilliga överenskommelser eller av andra skäl inte tyckte att tiden var mogen. Ganska snart bör det finnas skäl att se över detta igen för att utvärdera de frivilliga överenskommelserna.

I BRAS-utredningens delbetänkande diskuteras ytterligare några styrmedel som kan vara av intresse, däribland återvinningscertifikat (en parallell till elcertifikat), avfallsavgifter och råvaruskatter. I en översikt över lokala initiativ i Europa diskuteras över 70 olika exempel vilket indikerar att det kan finnas inspiration att hämta från andra länder.

## **Publikationer från projektet**

- Björklund, A. and Finnveden, G. (2002): Recycling revisited – comparing different waste management strategies. Paper presented at 10th SETAC LCA Case Study symposium. SETAC-Europe, Brussels.
- Björklund, A. and Finnveden, G. (2005): Life cycle assessment of a national policy proposal – The case of a Swedish waste incineration tax. *In preparation*.
- Björklund, A. and Finnveden, G. (2004): Application of LCA to waste management. In Christensen, T.H. and Barlaz, M. (eds.): *Solid waste technology and management*. Submitted.
- Björklund, A. and Finnveden, G. (2005): Recycling revisited – life cycle comparisons of waste management strategies. *Resources, Conservation and Recycling*. In press.
- Björklund, A. Johansson, J., Nilsson, M., Eldh, P. and Finnveden, G. (2003): *Environmental Assessment of a Waste Incineration Tax, A Case Study and Evaluation of a Framework for Strategic Environmental Assessment*. fms report 184. fms, FOI Stockholm.
- Carlsson Reich, M. (2003): *Syntes av studier på ekonomiska för- och nackdelar med olika avfallshanteringsstrategier*. Fms-rapport 186, fms, FOI, Stockholm.
- Eriksson, O., Finnveden, G., Ekvall, T. and Björklund, A. (2005): Life Cycle Assessment of fuels for district heating. Submitted
- Finnveden, G. (2005): Särskilt yttrande. I ”En bra skatt? – beskattning av avfall som förbränns”. Delbetänkande från BRAS-utredningen. SOU 2005:23, 363-365. Fritzes, Stockholm.
- Finnveden, G., Johansson, J., Lind, P. and Moberg, Å. (2002): Life Cycle Assessment of Energy from Solid Waste – Total energy use and emissions of greenhouse gases. In Sundqvist, J.-O., Finnveden, G. and Sundberg, J. (Eds.): *Proceedings from Workshop on System Studies of Integrated Waste Management in Stockholm, 2-3 April 2001*, 33-39. IVL Report B1490, IVL, Stockholm.
- Finnveden, G., Johansson, J., Lind, P. and Moberg, Å. (2005): Life Cycle Assessment of Energy from Solid Waste – Part 1: General Methodology and Results. *J Cleaner Production*, 13, 213-229.
- Hellweg, S., Doka, G., Finnveden, G. and Hungerbühler, K. (2003): Ecology: Which Technologies Perform Best? In Ludwig, C., Hellweg, S. and Stucki, S. (Eds.) *Municipal Solid Waste Management, Strategies and Technologies for Sustainable Solutions*, 350-404. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Hellweg, S., Doka, G., Finnveden, G. Hungerbühler, K. (2005): Assessing the Eco-efficiency of End-of-Pipe Technologies with the Environmental Cost Efficiency Indicator: A Case Study of Solid Waste Management. *J of Industrial Ecology*. Accepted.
- Moberg, Å., Finnveden, G., Johansson, J. and Lind, P. (2002): Life Cycle Assessment of Energy from Solid Waste – Landfilling as a treatment method. In Sundqvist, J.-O., Finnveden,



G. and Sundberg, J. (Eds.): *Proceedings from Workshop on System Studies of Integrated Waste Management in Stockholm*, 2-3 April 2001, 141-150. IVL Report B1490, IVL, Stockholm.

Moberg, Å. Finnveden, G., Johansson, J. and Lind, P. (2005): Life Cycle Assessment of Energy from Solid Waste – Part 2: Landfilling compared to other treatment methods. *J Cleaner Production*. 13, 231-240.

Nilsson, M., Björklund, A., Finnveden, G. and Johansson, J. (2005): Testing an SEA methodology for the energy sector - a waste incineration tax proposal. 25, 1-32. *Environmental Impact Assessment Review*

Sundqvist, J.-O., Finnveden, G. and Sundberg, J. (Eds.) (2002a): *Proceedings from Workshop on System Studies of Integrated Solid Waste Management in Stockholm 2-3 April 2001*. IVL Report B1490.

Sundqvist, J.-O., Finnveden, G. och Sundberg, J. (Eds.) (2002b): *Syntes av systemanalyser av avfallshantering*. IVL Rapport B1491

Sörbom, A. (2003): *Den som kan – sorterar mer! Några slutsatser baserade på tidigare forskning kring källsortering i hushållen*. Fms rapport 180.fms, FOI Stockholm.

### **Övriga referenser**

Berglund, C. (2004): Spatial cost efficiency in waste paper handling: the case of corrugated board in Sweden. *Resources, Conservation and Recycling*, in press.

Berglund, M. och Börjesson, P. (2003): Energianalys av biogassystem. Rapport nr 44. Miljö- och energianalys, Lunds Tekniska Högskola.

Börjesson, P. och Berglund, M. (2003): Miljöanalys av biogassystem. Rapport nr 45. Miljö- och energisystem, Lunds Tekniska Högskola.

Carlsson, A.-S. (2002): Kartläggning och utvärdering av plaståtervinning i ORWARE. IVL Rapport B1418. IVL, Stockholm.

Ekvall, T. and Finnveden, G. (2000): The Application of Life Cycle Assessment to Integrated Solid Waste Management, Part II – Perspectives on energy and material recovery from paper. *Trans IchemE*, 78, part B, 288-294.

Eriksson, O. (2003): Environmental and economic assessment of Swedish municipal solid waste management in a systems perspective. Doktorsavhandling. Industriellt miljöskydd, KTH, Stockholm.

Eriksson, O. (2004): Hållbar fjärrvärme. Fjärrvärme i ett ekologiskt hållbarhetsperspektiv. Rapport 2004:4. Svensk fjärrvärme, Stockholm.

Finnveden, G. and Ekvall, T. (1998): Life Cycle Assessment as a Decision-Support Tool - The Case of Recycling vs. Incineration of Paper. *Resources, Conservation and Recycling*, 24, 235-256.

Finnveden, G., Johansson, J., Lind, P. and Moberg, Å. (2000): *Life Cycle Assessment of Energy from Solid Waste*. FMS report 2000:2.

Mattsson, N., Unger, T. and Ekvall, T. (2005) *Effects of perturbations in a dynamic system – The case of Nordic power production*, submitted to Journal of Industrial Ecology

Ny teknik (2003): Lortig hantering av platsopor. Ny teknik, 17:e september, 2003.

Olofsson, M. (2004): Improving model-based systems analysis of waste management, PhD thesis. Chalmers, Göteborg.

Palm, V., Looström Urban, H., Wadeskog, A., Finnveden, G. och Moberg, Å. (2002): *Kunskap om produkters miljöpåverkan – vad ger dagens statistik?* Rapport 5231. Naturvårdsverket, Stockholm.

Profu (2004): Evaluating waste incineration as treatment and energy recovery method from an environmental point of view. Profu, Mölndal.

Prop (2005): Svenska miljömål – ett gemensamt uppdrag. Prop 2004/05: 150.

Sahlin, J. (2003): Waste Incineration – Future Role in the Swedish District Heating System. Department of Energy Conversion, Chalmers, Göteborg.

Schenk, N.J., Moll, H.C. and Potting, J. (2005): The nonlinear relationship between paper recycling and primary pulp requirements. *J Industrial Ecology*, 8 (3), 141-162.

SOU (2001): Resurs i retur. Betänkande från Utredningen för översyn av producentansvaret. SOU 2001:102.

SOU (2002): Skatt på avfall idag – och i framtiden. Betänkande av 2001 års avfallsskatteutredning. SOU 2002:9.

SOU (2005): En braskatt? – beskattning av avfall som förbränns. Delbetänkande av bras-utredningen. SOU 2005:23.