



rapport

IVL Svenska Miljöinstitutet AB

Hur påverkas kvicksilver i miljön av olika
energialternativ?
- En förstudie fokuserad på biobränslen

Karin Kindbom och John Munthe
B 1299
Göteborg, juni 1998

Sammanfattning

Sverige står inför en framtida förändring av energisystemet där inhemska biobränslen (avverkningsrester, energiskog, andra åkergrödor samt sorterat avfall) bedöms få ökad betydelse. Ett ökat biobränsleutnyttjande i form av avverkningsrester innebär en betydande omställning av svenskt skogsbruk. Bortförel av biomassa (grenar, toppar) från skogen innebär en bortförel av näringsämnen som måste kompenseras genom återföring av förbränningsaska. Omfattande utredningar och forskningsprojekt har genomförts för att utreda miljökonsekvenser av det nya energisystemet. Studierna har till stora delar inriktats på näringsämnesbalansen i skogsekosystemet men även omsättningen av tungmetaller har studerats. Vid förbränning av biobränslen anrikas tungmetaller askan. Askåterföring innebär således att tungmetaller som tidigare varit bundna i vegetation återförs till skogsmarken. Kvicksilver är, till skillnad från de flesta andra metaller, flyktigt och emitteras därför till luft vid förbränning. För att utreda hur omsättningen av kvicksilver påverkas av en framtida omställning av energisystem har IVL genomfört en förstudie på uppdrag av ELFORSK och Naturvårdsverket.

För utredningen har tre olika scenarier definierats, baserade på tillgängliga utredningar om biobränslepotentialen i Sverige;

1. Dagens situation med 77 TWh från biobränslen, inklusive avfall, varav 23.5 TWh från skogsbränsle.
2. Ett ökat biobränsleutnyttjande motsvarande ca 108 TWh varav 30 TWh från skogsbränslen och 22 TWh från energiskog.
3. Ett maximalt biobränsleutnyttjande motsvarande 160 TWh varav 70 TWh från skogsbränslen och 25 TWh från energiskog.

De bränslen som beaktats i beräkningarna är grupperna skogsbränsle, skogsindustrins biprodukter, returlutar och åkerbränslen. Som jämförelse har även förbränning av avfall ingått i scenarieberäkningarna med 5, 7, och 9 TWh, för de tre scenarierna.

Beräkningarna har syftat till att uppskatta dels den mängd kvicksilver som mobiliseras (i skördad biomassa eller genererat avfall), dels vilken andel som emitteras till luft, deponeras eller återförs som aska till skogsekosystemet. För kvicksilver som emitteras till luft har även en uppskattning av det framtida nedfallet i Sverige beräknats liksom den andel som förväntas spridas utanför landets gränser.

För varje scenario har mängd "skördat" eller mobiliserat kvicksilver beräknats utifrån tillgänglig information om kvicksilverinnehåll i biobränslen och avfall. Beräkningarna har gjorts som intervall då haltuppgifterna i flera fall varierar kraftigt. Vid förbränning har antagits att rökasen inte renas på annat sätt än med partikelavskiljning, vilket ger en emissionsfaktor på 0.95, d.v.s. 95% av kvicksilvret i bränslet emitteras till luft. För avfall har antagits en lägre emissionsfaktor på 0.13 då avfallsförbränningsanläggningar i allmänhet är utrustade med effektiv rökgasrening. Uppskattningen av kvicksilvernedfall har gjorts med underlag från tidigare utredningar av spridning och nedfall av kvicksilver emitterat från källor i Sverige.

Nedan sammanfattas de viktigaste slutsatserna av projektet:

- Det är stora skillnader i kvicksilverflödets mönster mellan sorterat brännbart avfall och de övriga studerade biobränslena. Den mobiliserade mängden kvicksilver är större i brännbart avfall än i övrig biobränsleråvara, i nutidsscenarioet i storleksordningen 6 gånger större medan skillnaden i framtiden minskar till en faktor ca 1.5-2.5. Emissionerna till luft från avfallsförbränning är emellertid, på grund av effektivare rökgasrening, mindre än från förbränning av övriga biobränslen, medan kvicksilver som placeras i deponi domineras av kvicksilver från avfall.
- Den skördade mängden kvicksilver i träd och åkerbränslen ökar enligt beräkningarna från i medeltal ca 440 kg Hg/år (230-660) till 730 (380-1080) respektive 1190 (520-1860) kg i de två framtidsscenarioerna (108 TWh respektive 160 TWh totalt). För mobiliserad mängd kvicksilver från brännbart sorterat avfall är motsvarande siffror ca 3000 (890-5100) i nutid till ca 1700 (390-3000) i framtiden, dvs. en minskning, på grund av minskande tillgängliga mängder sorterat hushållsavfall.
- Emissionerna till luft från studerade biobränslen, exklusive avfall, ökar från i medeltal 420 kg Hg/år (220-630) till ca 690 kg (360-1030) vid ett icke maximalt utnyttjande av biobränslepotentialen och till ca 1130 kg (500-1770) vid scenariet för maximalt utnyttjande.
- Trots minskande mängder tillgängligt sorterat avfall i framtiden kommer en större mängd än i nutid att förbrännas, vilket innebär kraftigt minskade mängder som deponeras. I max-scenarioet för framtiden kommer i stort sett allt tillgängligt brännbart avfall att utnyttjas till förbränning, både hushållsavfall och industriavfall. Under förutsättning att kvicksilverhalterna i avfallet i framtiden är jämförbara med dagens nivåer ökar emissionerna till luft med ca 15%, till medelvärdet 160 kg Hg/år (40-280) respektive med 50%, till 210 kg Hg/år (50-360) i de två framtidsscenarioerna jämfört med dagens medelvärde, 140 kg Hg/år (50-230).
- Av det kvicksilver som emitteras till luft kommer ca 30-35% att falla ner som torr- och våtdeposition i Sverige medan resterande ca 65-70% transporteras utanför landets gränser.
- Den dominerande mängden av kvicksilver placerat i deponi, ca 99% i alla scenarier, härrör från sorterat avfall, antingen via direkt deponering eller som rökgasreningssprodukter från förbränning.
- Den största andelen av det kvicksilver som mobiliseras vid skörd av biobränslen kommer att stanna kvar i cirkulation, antingen via den dominerande vägen, emissioner till luft, eller via askåterföring.
- Askåterföring innebär att 30 respektive 50 kg kvicksilver som medelvärde (motsvarande ca 4% av det totalt bortförda) återförs till skogsekosystemet i de två framtidsscenarioerna. Från atmosfäriskt nedfall (med ursprung i biobränsle-

förbränning, inkl avfall) tillförs ytterligare 290 resp. 470 kg kvicksilver inom Sverige (motsvarande ca 40% av det totalt bortförda). Den totalt återförda mängden kvicksilver till Sveriges yta är 320 respektive 520 kg, motsvarande 44% av det bortförda.

- Skörd av bibränsle innebär för svenska skogsekosystem en nettobortförsel på ca 300 kg/år i nutid, till ca 750 kg/år i det maximala framtidsscenariet. I skogsmark är det totala nedfallet från luft f. n. ca 20 g/km² år (Munthe m.fl., 1995). Den mängd som enligt scenarierna bortförs med skogsbränslen beräknas vara av samma storleksordning som det årliga nedfallet av kvicksilver från luften till den aktivt brukade ytan, och innebär således en kraftig minskning av belastningen.
- Ett framtida utökat utnyttjande av bibränslen innebär att svenska utsläpp av kvicksilver till luft i det närmaste fördubblas (från dagens ca 1000 kg till 2000 - 2300 kg inkl. avfall). De svenska utsläppen av kvicksilver är dock i ett europeiskt perspektiv i det närmaste försumbara (< 0.5% år 1990) varför en fördubbling inte nödvändigtvis leder till någon mätbar förändring av miljöbelastningen. Sverige är dock mycket starkt drivande för att uppnå internationella överenskommelser om utsläpps begränsningar för kvicksilver varför även små ökningarna kan upplevas som besvärande och leda till krav på utsläpps begränsande åtgärder.

SAMMANFATTNING	1
1 BAKGRUND	5
2 MÅLSÄTTNING	5
3 OMFATTNING OCH AVGRÄNSNINGAR, SYSTEMGRÄNSER	5
4 NUVARANDE OCH FRAMTIDA UTNYTTJANDE AV BIOBRÄNSLEN	6
4.1 Biobränslen	6
4.2 Scenarier för biobränsleanvändning	7
4.3 Användning av biobränslen - olika processer	9
5 KVICKSILVER I BIOBRÄNSLESYSTEMET	10
5.1 Kvicksilverinnehåll och utnyttjande av biobränslen	10
5.1.1 Skogsbränsle	10
5.1.2 Skogsindustrins biprodukter	11
5.1.3 Returlutar	11
5.1.4 Åkerbränslen	11
5.1.5 Avfall	11
5.2 Emissioner av kvicksilver vid förbränning	14
5.3 Utsläpp av kvicksilver från deponi	15
5.4 Askåterföring	15
6 FLÖDEN AV KVICKSILVER	17
6.1 Kvicksilverflöden vid olika scenarier av biobränsleutnyttjande	17
6.1.1 Deposition i Sverige och gränsöverskridande transport av kvicksilver	20
7 RIMLIGHETEN I BERÄKNADE KVICKSILVERFLÖDEN	24
8 SLUTSATSER	26
BILAGA 1 BERÄKNINGAR	28
REFERENSER	32

1 Bakgrund

Inhemska bränslen i form av biomassa (avverkningsrester, energiskog, andra åkergrödor samt sorterat avfall) bedöms få ökad betydelse i energisammanhang. Nämda bränslen innehåller kvicksilver som i flera fall tillförts genom deposition från atmosfären. Förbränning innebär en direkt frigörelse av kvicksilverinnehållet, men också att det kan avskiljas från process- eller rökgaser. Kvicksilverinnehållet i olika typer av biomassa och avfall som inte förbränns kan också frigöras, men på betydligt längre sikt, och kan omsättas i miljön. Flödesvägarna och tidsperspektiven blir i detta fall annorlunda än vid förbränning.

2 Målsättning

Att sammanställa befintliga data om kvicksilverinnehåll i olika former av biobränslen och avfall samt de emissioner som kan förekomma från förbränning av nämnda bränslen.

Att uppskatta vilken förändring som biobränsleanvändningen kan ge vad gäller omsättningen av kvicksilver i svensk miljö. Såväl emissioner från förbränningsprocesser till luft som förändringar orsakade av ett uttag av biomassa beaktas.

Att uppskatta och jämföra flöden av kvicksilver från deponering och förbränning av avfall och vilken miljöpåverkan som kan förutses i ett långt tidsperspektiv.

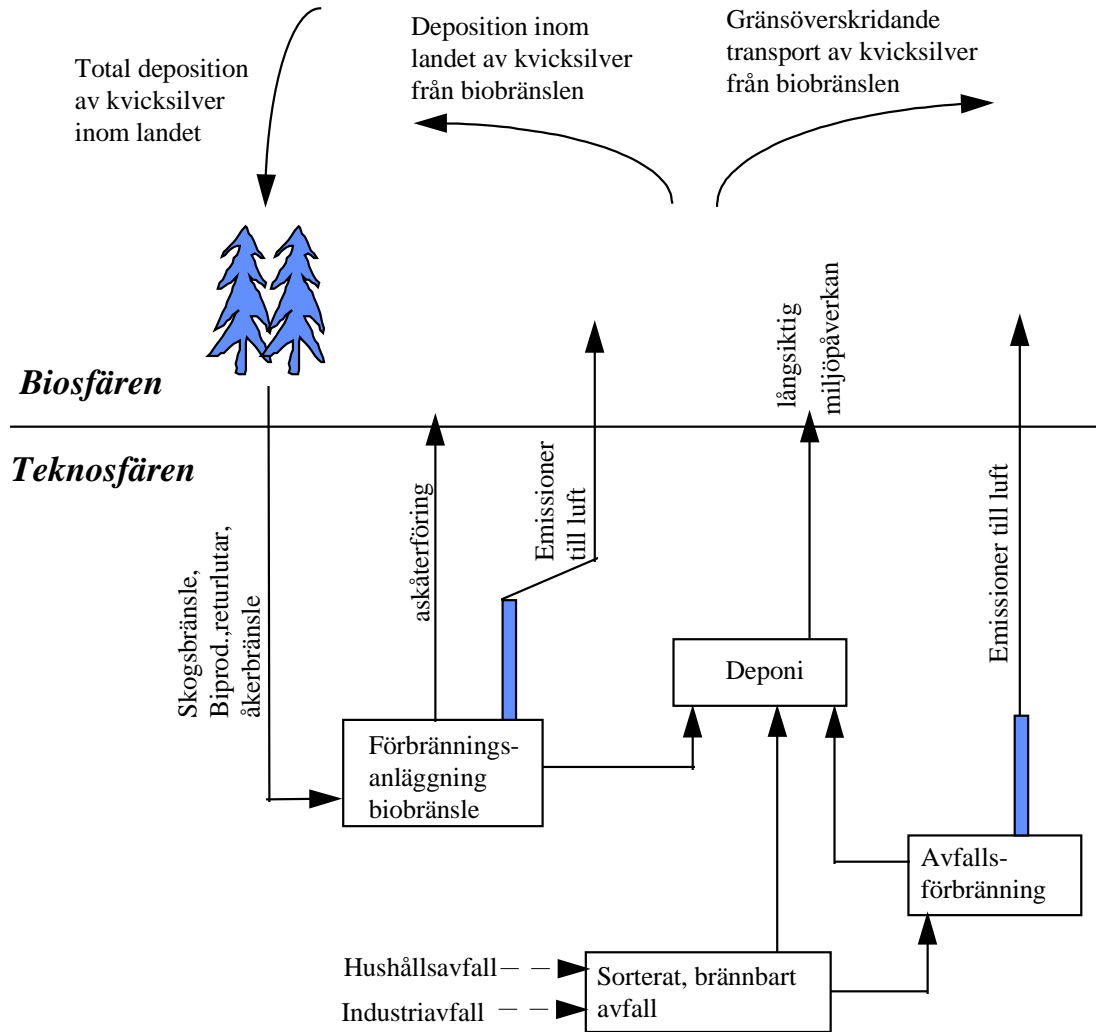
Utredningen är en förstudie fokuserad på biobränslen. Andra framtidsscenarier, som t. ex. ett fortsatt utnyttjande av kärnkraft eller storskaliga satsningar på fossila bränslen, har inte utretts.

3 Omfattning och avgränsningar, systemgränser

Det system för kvicksilverflöden som studerats, fokuserat på biobränsleanvändning, presenteras schematiskt i figur 1. Cirkulationen innefattar nivåerna biosfären och teknosfären. Biobränslen skördas från biosfären eller tillförs systemet som sorterat avfall, förbränns i teknosfären och ingående kvicksilver återgår till biosfären via emissioner till luft, återförs via aska eller via utsläpp från deponi. En viss andel av det i teknosfären "frigjorda" kvicksilvret placeras i deponi där en långsiktig avgång till biosfären sker.

Kvicksilverflödet har studerats i tre beräkningsfall, ett baserat på nuvarande utnyttjande av biobränslen samt i två framtida scenarier, ca år 2015-2020, där användningen av biobränslen antas ha ökat kraftigt.

Systemet har begränsats till de delar som anges i figuren, sålunda ingår inte torv i studien. För avfall beaktas sorterat, brännbart avfall, där kvicksilverflöden uppskattas vid såväl förbränning som vid deponering.



Figur 1 Studerat system.

4 Nuvarande och framtida utnyttjande av biobränslen

4.1 Biobränslen

Biobränsle kan delas in i grupperna trädbränsle och åkerbränsle. Även sorterat avfall med biologiskt ursprung samt torv räknas till biobränslen. I gruppen trädbränsle ingår skogsbränsle vilket innefattar avverkningsrester, främst grenar och toppar, samt bark och ved. Biprodukter från skogsindustrin såsom flis, spån och bark samt returlutar från massaindustrin räknas också som trädbränsle, liksom återvunnet trädbränsle, rivningsvirke, emballagevirke och annat spillvirke (Lundborg, 1995). Åkerbränslen kan vara snabbväxande energiskog, t ex salix, samt energigrödor där lusern och rörlfen är de viktigaste. Till åkerbränslena räknas även halm.

4.2 Scenarier för bibränsleanvändning

I valet av scenarier för nutida och framtida bibränsleanvändning har nedanstående uppskattningar från litteraturen (Tabell 1) legat till grund. I de fall en post är markerad med ett streck har denna uppgift inte ingått i bedömningen. Det är alltså inte möjligt att beräkna jämförbara totalsummor i alla kolumner.

Scenarierna för 2015 / 2020 avser en maximal bibränsleanvändning, dvs utnyttjande av hela bibränslepotentialen. I framtidsscenarierna är emellertid viss hänsyn tagen till ekonomiska faktorer och / eller ekologiska restriktioner i olika former. De största skillnaderna mellan de framtida scenarierna är främst i posterna skogsbränsle och energigrödor.

Tabell 1 Nuvarande utnyttjande av bibränslen samt framtida bibränslepotential (TWh/år).

År	Nutid		Framtid		
	1993 ¹⁾	1995 ²⁾	>2015 ³⁾	2015 ⁴⁾	2020 ²⁾
Skogsbränsle	19.7	22	60-70	44	94
Skogsindustrins biprodukter	16.2	16.5	16-17	16	18
Återvinningsvirke	-	1.5	-	-	4
Returlutar	32.1	-	31-34	38	-
Energiskog	0	-	40-48	16	-
Energigräs	0	-		16	-
Halm	0	-	11		-
Avfall	4.2	-	15	-	-
Totalt	72.2	(40)	173-195	130	(116)

1) Lundborg 1995, Skogsbränsle och miljön.

2) Hektor m.fl. 1995, Trädbränslepotential i Sverige på 2000-talet.

3) SOU 1992:90, Biobränslen för framtiden. (Energiskog inkluderar energigräs)

4) Boman 1991, Biobränslen i det Svenska energisystemet, en modellstudie. (Alternativ "Max biobränsle", energigräs inkluderar halm)

Skogsindustrins biprodukter samt returlutar kommer enligt uppskattningarna att i framtiden utnyttjas i ungefär samma grad som nu. Ökningspotentialerna för biobränsleanvändning ligger främst i ett ökat tillvaratagande av avverkningsrester (skogsbränsle) samt i ökad användning av energiskog och sorterat avfall. Idag utnyttjas mellan 11-14% av avverkningsrester för energiutvinning medan nivån i framtiden skulle kunna vara 80-90% (Hektor m.fl. 1995). I en nyare studie av miljökonsekvenser av skogsbränsleuttag (Egnell m.fl. 1998) bedöms potentialen för uttag vara mellan 31-79 TWh/år, där 49 TWh/år anges som ett rimligt uttag vid "praktisk drift" under perioden 1998-2007. Praktisk drift innebär i det sammanhanget att 70% av grenar och toppar samt 30% av barren tillvaratas.

På grund av de stora skillnader i bedömningarna av den framtida biobränslepotentialen har vi valt två beräkningsalternativ för framtidsscenarierna i denna

förstudie. Det ena, "maximalt utnyttjande av biobränslepotentialen" är en sammanvägning, och viss justering, av framtidsbedömningarna i Tabell 1, som alltså anger den *maximala* biobränslepotentialen. Ett alternativt framtidsscenario, "icke maximalt utnyttjande av biobränslepotentialen", är en försiktigare bedömning av det *verkliga* utnyttjandet av den existerande potentialen, se Tabell 2.

I uppskattningarna i Tabell 1 bedöms energigrödor och halm kunna ge relativt betydande bidrag till en framtida energiförsörjning, samtidigt som förväntningarna på energiskog i åtminstone ett scenario är relativt stora. Efter personliga kontakter med Anna Lundborg och Gunnar Hovsenius har halm och energigrödor som viktiga bidrag till framtida energiförsörjning uteslutits, samtidigt som antaganden avseende energiskog har modifierats. Dessutom kommer sannolikt inte varje enskild bränsletyp utnyttjas i så hög utsträckning. Bedömningar avseende det framtida sannolika skogsbränsleuttaget varierar kraftigt mellan olika bedömare. I Egnell m.fl. (1998) bedöms, som tidigare nämnts, potentialen för skogsbränsleuttag vara mellan 31-79 TWh/år, där 49TWh/år anges som ett rimligt uttag. En pågående utredning av Bo Hektor m. fl., med invägningar av ekologiska och ekonomiska restriktioner enligt nuvarande kunskapsläge, indikerar ett framtida rimligt skogsbränsleuttag i storleksordningen ca 30 och upp till högst ca 50 TWh. I SOU 1995:139 redovisas bedömningar av ökningen av uttag av avverkningsrester, gallringsved och virke utan industriell användning på mellan ca 10-80 TWh utöver dagens utnyttjande av skogsbränslen, drygt 20 TWh. Det vill säga, i de olika framtidsscenarierna varierar skogsbränsleposten mellan ca 30-100 TWh. De olika bedömningarna har emellertid olika långa framtidsperspektiv som bas, varför direkta jämförelser inte kan göras. I utredningen (SOU 1995:139) framhålls att de mest optimistiska bedömningarna av ett uthålligt uttag av trädbränslen överstiger vad som skulle krävas för att försörja ett utbyggt fjärrvärme / kraftvärmesystem som enbart utnyttjar trädbränslen.

I det icke maximala scenariet för framtiden har modifieringar införts på basis av rimlighetsdiskussioner och olika "medelalternativ" i bl. a. rapporterna Elforsk 96:9, SOU 1995:139 och SOU 1992:90, se vidare kommentarer till Tabell 2.

Avsikten i denna rapport har varit att använda inte helt osannolika framtidssalternativ som beräkningsexempel, men som skiljer sig väsentligt från dagens utnyttjande. Mot denna bakgrund kan det, i vissa fall, höga utnyttjandet av biobränslen som ansatts i beräkningsexemplen motiveras. I Tabell 2 redovisas de nutida och framtida huvudalternativ som använts vid beräkningar av kvicksilverflöden. I bilaga 1 redovisas även beräkningar där i max-alternativet, skogsbränsleposten är ansatt till 49 TWh istället för 70 TWh, eftersom de senare uppgifterna (Egnell m.fl. 1998 samt Hektor m. fl., under arbete) anger denna nivå som mer sannolik.

Tabell 2 Använda beräkningsalternativ, TWh/år.

	Nutid	Icke maximalt utnyttjande år 2015/2020*	Maximalt utnyttjande år 2015/2020
Skogsbränsle	23.5	30 [□]	70 ^{**}
Skogsindustrins biprod.	16.5	17	18
Returlutar	32	32	38
Energiskog	0	22	25
Avfall	5	7 [§]	9 ^{□□}
Totalt	77	108	160

*Modificeringar bygger delvis på uppskattningar i Elforsk 96:9, t ex avseende utnyttjandet av energiskog (LRF refereras) samt ett framtida utnyttjande av summan skogsbränsle och skogsindustrins biprodukter på ca 45 TWh (SOU 1995:139 refereras)

** ansatt som medelvärdet mellan högsta och lägsta bedömning i max-scenarierna i Tabell 1. Ett alternativt scenario, 49 TWh skogsbränsle enligt uppgifter i Egnell m. fl. (1998) och Hektor m. fl. (under arbete), redovisas i tabell i bilaga 1. Total energiutvinning i alternativet blir 140 TWh.

*** Alternativ beräkning, resultat redovisas i tabell i bilaga 1.

□ 20-30 TWh i medellångt perspektiv sätts som lägsta framtidsbedömning enligt fig i SOU 1995:139, (Skogsindustrierna refereras).

□□ Från "Ett miljöanpassat energisystem", där 10-15 TWh anges för avfall som max tillgängligt (ref i SOU 1992:90). 9 TWh i maxscenariet diskuteras i kapitel 5.1.5.

§ Kombination av uppgifter i NV 1997 och Kretsloppsdelegationens rapport 1998:20, se kap 5.1.5.

4.3 Användning av biobränslen - olika processer

Biobränslen kan, förutom att direktanvändas i fast form, även förädlas till ett flertal energibärare såsom biogas, alkoholer och oljor (och till el och värme). Modellstudier av framtida biobränsleanvändning visar emellertid störst lönsamhet för direktanvändning av biobränslen, dvs utan någon förädling till biogas eller alkoholer (Boman 1991). Största användningsområdet för biobränslen kommer sannolikt vara kraftvärme och processvärme och/eller mottryck i industrin. Därigenom kommer merparten av all fjärrvärme att baseras på biobränslen (Elforsk 96:9).

Det energisystem vi har år 2015 kommer till största delen att vara uppbyggt mellan 1990 och 2010. Vi kommer att kunna tillgodogöra oss teknikutvecklingen under de närmaste 10 åren men inte mer. Energisystemet 2015 kommer därför i allt väsentligt att bygga på teknik som är kommersiellt tillgänglig idag eller under utveckling (Naturvårdsverket rapport 3724).

I nedanstående beräkningar av kvicksilverflöden i biobränslesystemet förutsätts, mot bakgrund av ovanstående kommentarer, att samma tekniker för energiutvinning används i framtiden som i nuläget, vilket innebär att emissionsfaktorer och reningstekniker antas vara samma i framtid som i nutid. Endast direktanvändning av biobränslen innefattas i beräkningarna.

5 Kvikksilver i bibränslesystemet

5.1 Kvikksilverinnehåll och utnyttjande av bibränslen

I Tabell 3 redovisas litteraturuppgifter avseende kvikksilverinnehåll i olika bibränslen.

Tabell 3 Kvikksilverinnehåll i bibränslen.

Bränsle	Hg, g/ton TS	Referens
Trädbränsle	0.01-0.02	1
Bränslekross, helträd	0.028	2
Spån	0.01	3
Bark (lite ved)	0.038	3
Barr	0.03-0.5 / 0.04-0.13	4/9
Returlutar	0.01-0.015	5
Salix, ved	0.03-0.07	6
Hushållsavfall	1*	7
sorterat hushållsavfall 1992	0.3-3.7*	8
sorterat industriavfall 1992	0.045-2.4*	8

- | | |
|-------------------------------|---------------------------|
| 1) Rosén-Lidholm m.fl. (1992) | 6) Johnson (1995) |
| 2) Burvall (1986) | 7) NV 4177 (1993) |
| 3) Gärdenäs, pers. komm | 8) RVF (1994) |
| 4) Munthe m. fl. (1998) | 9) Lindquist m.fl. (1991) |
| 5) värde ansatt | *ej torrsubstans |

I de beräkningar av kvikksilverflöden som gjorts i denna förstudie har bibränslena delats in i grupperna skogsbränsle, skogsindustriella biprodukter, returlutar, energiskog samt brännbart avfall.

Resultaten från beräkningarna presenteras i intervall, dvs hänsyn har tagits till de uppgifter om variationer i kvikksilverinnehåll som angetts i litteraturen.

5.1.1 Skogsbränsle

Skogsbränsle innefattar avverkningsrester, ved och till en liten del återvinningsvirke. Halterna av kvikksilver i de olika trädelarna skiljer sig på så sätt att främst bark och barr innehåller högre halter kvikksilver än ved. I genomsnitt innehåller trädbränsle (ved plus avverkningsrester) 0.01-0.03 g Hg/ton (Rosén-Lidholm m.fl. 1992 och Burvall, 1986). Den högsta halten som anges för barr, 0.5 g Hg/ton (tabell 2) utnyttjas inte som maxvärde i beräkningarna av kvikksilverflöden i kapitel 6. Detta maxvärde har bedömts som orimligt i en stor andel av barmängden, och ett värde på 0.2 g Hg/ton har istället ansatts som högsta värde i beräkningsintervallet.

I beräkningarna av kvikksilverflöden har ett antagande av bränsleflisens sammansättning gjorts enligt uppgifter i rapporten Askåterföringssystem (NUTEK m.fl 1994) där den procentuella sammansättningen på flis anges till 5% bark, 15% barr, 50% grenar och 30% stamved. I dagens scenario är sannolikt vedmängden förhållandevis något större än vad den kommer vara i framtiden då andelen

tillvaratagna avverkningsrester enligt scenarierna kommer öka. I beräkningarna har ingen justering för detta gjorts.

5.1.2 Skogsindustrins biprodukter

Här ingår främst bark som förbränns i barkpannor vid massaindustrierna, samt spån och bark som produceras i sågverk. Fördelningen mellan bark och flis har ansatts efter uppgifter i Hektor m. fl. (1995), där bark från massaindustrin bedöms producera 6.5-8.5 TWh/år, bark från sågverk ca 5 TWh/år samt flis från sågverk, med hög inblandning av bark, ca 6-6.5 TWh/år. Energiutvinning från skogsindustrins biprodukter förväntas endast öka marginellt i framtiden.

5.1.3 Returlutar

Utnyttjandet av returlutar kommer enligt samstämmiga bedömningar sannolikt att ligga kvar på ungefär dagens nivå även i framtiden. De framtida emissionerna av kvicksilver till luft från förbränning av returlutar kommer sålunda vara jämförbara med dagens. Den förändring i kvicksilverflöden som kan uppkomma är i de fall askan från förbränningen kommer utnyttjas för askåterföring till skogsmark i framtiden istället för att deponeras.

Vi har inte funnit några uppgifter om kvicksilverinnehåll i returlutar, men kvicksilverhalten är sannolikt låg när returlutarna förbränns. Det kvicksilver som ursprungligen fanns i ingående material har sannolikt till stor del emitterats eller lagts fast på annat ställe i processen (Boström, pers komm). I nedanstående beräkningar har kvicksilverhalten i returlutar ansatts till mellan 0.01-0.015 g Hg/ton.

5.1.4 Åkerbränslen

Halm, rörflen och lusern kommer sannolikt att få relativt liten betydelse i den nationella energiförsörjningen i framtiden, och i sådana fall som reservbränsle. I beräkningarna tas därför hänsyn endast till energiskog.

5.1.5 Avfall

Det avfall som utnyttjas för energiutvinning är sorterat hushålls- samt industri-, bygg- och rivningsavfall, dvs den mängd avfall som återstår då miljöfarligt avfall, papper och glas eller annat återvinningsbart material sorterats bort för omhändertagande eller återvinning. I dagsläget deponeras eller förbränns det sorterade avfallet men kompostering och rötning kommer sannolikt få ökande betydelse i framtiden. Ökningstakten är för närvarande 0.5% per år för sorterat hushållsavfall men det är möjligt att mängderna i framtiden minskar, om återanvändning av insamlat material, papper, burkar, glas mm ökar (RVF 1994).

Kapaciteten i dagens avfallsförbränningsanläggningar är ca 1.9 milj ton per år, eller ca 5 TWh vid 21 anläggningar (Kretsloppsdelegationen 1998). Ingen betydande utbyggnad av kapaciteten är planerad inom överskådlig framtid, så denna kapacitet förutsätts vara rådande även i framtidsscenerierna. Vissa fraktioner av främst sorterat bygg- och industriavfall kan emellertid förbrännas i andra fastbränsleanläggningar, på så sätt kan totalt sett större mängder sorterat avfall utnyttjas för energiutvinning. Mot bakgrund av detta förutsätter vi i scenarioräkningarna att tillgänglig kapacitet inte är

begränsande. I beräkningarna hänförs emellertid allt avfall till förbränning i avfallsförbränningsanläggningar med lägre emissionsfaktor av kvicksilver till luft än i övriga förbränningsanläggningar. Den eller de fraktioner avfall som kommer förbrännas i andra fastbränsleanläggningar förutsätts vara väl sorterade, med lågt kvicksilverinnehåll, varför emissionerna till luft förväntas bli låga.

I nedanstående beräkningar av kvicksilverflöden från sorterat avfall har flera antaganden gjorts. Tillgängliga uppgifter avseende avfallsmängder, energiinnehåll och producerad energi stämmer inte överens i litteraturen utan anpassningar har fått göras. Vad gäller kvicksilverinnehåll i såväl sorterat hushållsavfall som industriavfall är variationsbredden stor. För sorterat industriavfall anges halterna till mellan 0.045-2.4 g Hg/ton bränsle (RVF 1994). I sorterat hushållsavfall varierar kvicksilverhalten mellan 0.3-3.7 g Hg/ton (RVF 1994), eller mellan 0.5-3.4 g Hg/ton bränsle, med medianvärdet 0.9 och medelvärdet 1.5 g/ton (NV 4185). Hushållsavfallets innehåll av kvicksilver har beräknats vara ca 2.5 ton per år (NV 4177, 1993). Såväl kvicksilverinnehållet i avfall som direkta utsläpp till luft har minskat under senare år, både på grund av de minskade mängder kvicksilver i avfallet och genom installation av rökgasreningsutrustning.

5.1.5.1 *Dagsläget*

Av sorterat hushållsavfall förbränns idag ca hälften, 1.3 av totalt sorterat 2.6 milj. ton/år, medan resten deponeras. Av industriavfall samt bygg- och rivningsavfall förbränns en betydligt mindre andel, i storleksordningen 10-20% eller 0.6-0.8 av totalt sorterat 2.5-4.3 milj. ton. Utöver den sorterade mängden industri-, bygg- och rivningsavfall produceras sammanlagt mellan 1.5-4.5 milj. ton avfall som tillvaratas genom materialåtervinning (NV 1997).

Sammanlagt, från både hushålls- och industriavfall mm, utvinns ca 5 TWh från sorterat avfall i dagsläget, vilket är de uppskattningar som utnyttjas i nedanstående scenarioräkning.

5.1.5.2 *Framtiden*

År 2005 kommer inget brännbart avfall att få deponeras om Naturvårdsverkets förslag (NV, Aktionsplan Avfall) fastställs av riksdag och regering. Detta avfall ska istället i så stor utsträckning som möjligt nyttiggöras i första hand genom materialåtervinning och biologisk behandling, men också genom energiutvinning. I framtiden förutsätts således en stor andel av den *totala* mängden producerat hushållsavfall gå till materialåtervinning (1.1 milj. ton) och biologisk behandling (1.2 milj. ton) (NV 1997). Detta innebär bland annat att det avfall som i framtiden kommer förbrännas inte har samma sammansättning som i dagsläget, t. ex kommer vissa fraktioner som idag förbränns att år 2005 istället behandlas biologiskt. Denna förändring av avfallets sammansättning har vi i scenarioräkningarna inte kunnat ta hänsyn till. Trots ett förslaget förbud för deponering av hushållsavfall, anges i NV rapport "Kapaciteten för framtida förbränning av avfall" (NV 1997) att en mängd av ca 0.4 milj. ton hushållsavfall kommer deponeras (RVF 1995 refereras). Den mängd avfall som kommer förbrännas, bedöms bli i storleksordningen ca 0.5 milj. ton hushållsavfall, eller 1.8 TWh, räknat på effektivt värmevärde 3.6 MWh/ton (RVF 1995 refereras i NV 1997).

Vad gäller industri-, bygg och rivningsavfall bedöms 1.2-1.8 milj ton, eller 5.9-7.1 TWh, gå till förbränning runt år 2005 (NV 1997). Enligt NUTEK och Biobränslekommissionen är den teoretiska potentialen för energiutvinning ur industri-, bygg- och rivningsavfall ca 9 TWh. Uppgifter avseende mängden sorterat industri-bygg- och rivningsavfall som kommer deponeras och den mängd som förväntas gå till materialåtervinning varierar inom relativt vida gränser i litteraturen. Här har i de framtida beräkningsalternativen en relativt låg siffra på mängden avfall till deponi ansatts.

5.1.5.3 Beräkningsalternativ

I de beräkningsalternativ som redovisas i denna rapport är för hushållsavfall, den tillgängliga mängden sorterat avfall i nutidsscenariet 2.6 milj. ton, varav hälften förbränns. I båda framtidsscenarierna har den tillgängliga mängden sorterat hushållsavfall minskats till ca 1 milj ton (NV 1997). I det "icke maximala scenariet" deponeras ca 40% av den tillgängliga mängden (NV 1997), medan det i det "maximala scenariet" antas att hela mängden, 1 milj. ton sorterat hushållsavfall, förbränns (Tabell 4).

De mängder sorterat industri-, bygg- och rivningsavfall som förutsätts i scenarierberäkningarna är 2-2.5 milj. ton i alla tre fallen, där fördelningen mellan andelen som förbränns och andelen som deponeras är olika (Tabell 4). Den större mängden, 2.5 milj. ton, gäller nutidsscenariet medan i framtiden en ökad materialåtervinning antas minska den totala sorterade avfallsmängden till ca 2 milj. ton (NV 1997, NUTEK 1994).

Tabell 4 *Fördelning mellan deponering och förbränning av avfall i de olika scenarierna, sammanvägning av uppgifter från bl. a. NUTEK 1994 och NV 1997.*

Scenario	Hushålls- avfall	Hushålls- avfall	Hushålls- avfall	Industri- avfall etc	Industri- avfall etc	Industri- avfall etc	Totalt
	<i>milj ton till deponi</i>	<i>milj ton till för- bränning</i>	<i>TWh från för- bränning</i>	<i>milj ton till deponi</i>	<i>milj ton till för- bränning</i>	<i>TWh från för- bränning</i>	<i>TWh från för- bränning</i>
1993/1995	1.3	1.3	3.3	2	0.5	1.7	5
Icke max. utnyttjande framtid	0.4	0.5-0.7*	1.8	0.6	1.4	5.2	7
Maximalt utnyttjande framtid	0	1.0	2.6	0.2	1.8**	6.4	9

*Effektivt värmeverde 2.6 MWh/ton (Elforsk 95:1) ger 0.7 milj ton; 3.6 MWh/ton (NV 1997) ger 0.5 milj ton avfall. I scenarioräkningarna används genomgående 2.6 MWh/ton för hushållsavfall.

** En icke specificerad andel förbränns i annan fastbränsleanläggning än avfallsförbränningsanläggning.

I nutidsscenarioet utvinns således 5 TWh från förbränning av avfall, där hushållsavfall bidrar med 3.3 TWh och industriavfall mm bidrar med 1.7 TWh. I de framtida scenarierna beräknas, för det "icke maximala" scenariot en energiutvinning på 1.8 TWh från hushållsavfall och 5.2 TWh från sorterat industriavfall, dvs. sammanlagt 7 TWh från förbränning. I scenariot med maximalt utnyttjande av potentialen beräknas utnyttjandet av hushållsavfall till 2.6 TWh och industriavfall mm till 6.4 TWh, sammanlagt 9 TWh.

5.2 Emissioner av kvicksilver vid förbränning

För kvicksilver gäller i princip att bränslets hela kvicksilvermängd avgår med rökgasen från en förbränningsanläggning för biobränslen utan speciella rökgasreningsåtgärder. Möjligen ger textila spärrfilter en mätbar avskiljning om stoftet innehåller oförbränt material (SOU 1992:91). De förbränningstekniska lösningar som nu finns att tillgå kommer vara rådande under de närmaste decennierna eftersom inga radikalt annorlunda tekniker för energiomvandling av biobränsle bedöms bli kommersiellt gångbara. Större anläggningar kommer sannolikt ha bättre rökgasrening än små anläggningar, men effekterna av åtgärder för rökgasrening på utsläpp av kvicksilver kommer sannolikt inte att vara stora vid förbränning av biobränslen, undantaget vid avfallsförbränning där speciella reningsåtgärder används.

I beräkningar av kvicksilverflöden används en emissionsfaktor till luft på 95% vid alla typer av förbränningsanläggningar, undantaget vid anläggningar för avfallsförbränning där kvicksilver i högre grad avskiljs vid rökgasrening.

Från ett försök med förbränning av sorterat hushållsavfall (NV 4192/4185) i vilket avfall från sex olika områden i Sverige vid olika tillfällen förbrändes i en och samma ugn, redovisas att mellan 1-82% av kvicksilvret emitterades med rökgaserna.

Anläggningen hade reningsutrustning i form av elfilter och kondensering. Det högsta värdet erhöles då kondenseringen fungerade dåligt. De från förbränningstestet beräknade kvicksilverbalanserna redovisas i Tabell 5.

Tabell 5 *Kvicksilverbalans vid förbränning av sorterat hushållsavfall (från NV rapport 4192).*

Område	Bränsle Hg, g/ton	Slagg %	Elfilteraska %	Kondensat %	Rökgas %
1	0.5	0	47	4	49
2	0.7	2	48	3	47
3	0.9	2	20	32	46
4	0.7	1	11	6	82
5	1.9	0	11	81	8
6	3.3	0	44	52	4
7	3.4	0	62	37	1

Variationerna i avskiljning av kvicksilver är stora för de olika testerna, såväl avseende hur stor andel som avskiljs i elfiltret som andelen i kondensat. Vid modern teknik avseende rökgasrening har emissionfaktorn för kvicksilver till luft vid avfallsförbränning beräknats till ca 13% (Finnveden m.fl. 1995). Denna emissionsfaktor används genomgående i de beräkningar av emissioner till luft från avfallsförbränning som gjorts i denna förstudie. Det är möjligt att vissa fraktioner av sorterat industriavfall, t.ex. bygg- och rivningsavfall, kan komma att utnyttjas som bränsle i vanliga anläggningar för förbränning av biobränslen, där emissionfaktorn till luft är betydligt högre. Detta har inte beaktats i beräkningarna.

5.3 Utsläpp av kvicksilver från deponi

Från en avfallsdeponi avgår kvicksilver till luft eller lakas ut och sprids med lakvatten. Under "överskådlig" tid, dvs under årtionden till ett århundrade, avgår i storleksordningen mellan $1 \cdot 10^{-4}$ (Finnveden 1995) och $1 \cdot 10^{-3}$ (Mingarini m.fl. 1995) kg Hg/kg Hg som deponerats, ungefär hälften i gasfas och hälften lakas ut.

I beräkningarna antas det kvicksilver som återfinns i rökgasreningensprodukter från avfallsförbränning placeras i deponi. De askor och restprodukter som bildas vid förbränning av övriga biobränslen, och som inte används vid askåterföring, antas även dessa lagras i deponi, där ett långsamt läckage av kvicksilver till luft och vatten kan ske.

5.4 Askåterföring

Stabiliserad aska i svåröslig form och i en kompenserande dos återför tungmetaller till marken i en takt och mängd som är jämförbar med att avverkningsrester lämnas på hygget och bryts ned naturligt (Lundborg 1994). Enligt antaganden om kritiska halter av metaller är det inte kvicksilverhalterna i aska som är begränsande för möjligheten att återföra aska till skogsmark, utan istället halterna i aska av Cd, Cu och Zn.

Uppskattningar av den mängd bibränsleaska som för närvarande produceras i Sverige varierar från 80-90 000 ton TS (Egnell m.fl.. 1998) till i storleksordningen 134 000 ton (Rosén- Lidholm m.fl.. 1992) eller 100 000-150 000 ton TS (NUTEK m.fl. 1994). I framtiden, med ett högre utnyttjande av bibränslen, beräknas asktillgången kunna öka väsentligt. Den miljömässiga tillgängligheten (baserat på tungmetallinnehåll) av aska för återföringsändamål bedöms vid nuvarande produktion vara ungefär två tredjedelar av producerad mängd (Egnell m.fl.. 1998). Detta baseras på att ca en tredjedel av producerad askmängd, i mitten på 1990-talet, härrör från förbränning av endast träbränslen, och resterande del från sameldning med kol/torv/olja eller avfall. Den mängd aska som är lämpad för askåterföring till skogsmark består av askan producerad vid förbränning av träbränslen och ca hälften av askan som producerats vid sameldning. I framtiden, vid mer omfattande utnyttjande av skogsbränsle för energiproduktion, kan den miljömässigt tillgängliga askmängden förväntas öka betydligt (Egnell m.fl.. 1998). I andra uppskattningar bedöms den kommersiella tillgängligheten av aska för askåterföring vara 80% av producerad mängd (Rosén- Lidholm m. fl. 1992).

I nedanstående beräkningar hänförs den andel av i bränslet ingående kvicksilver, som inte emitteras till luft vid förbränningen, till en restpost av aska. Av denna restpost har, i framtidsscenarierna med ökad användning av skogsbränsle, 80% av producerad mängd ansatts till askåterföring. Resterna, icke miljömässig eller kommersiellt tillgänglig andel antas bli placerad i deponi. Detta resonemang gäller inte returlutar där den kommersiella tillgängligheten antas vara 100% (Rosén- Lidholm m. fl. 1992). Aska och restprodukter från avfallsförbränning antas konsekvent bli placerade i deponi.

Kvicksilverinnehållet i olika askor presenteras i Tabell 6. Innehållet av kvicksilver i Salixaska motsvarar i stort det som redovisas för skogsbränsleaskor (Rosén- Lidholm m. fl. 1992). I dagsläget sker askåterföring endast i liten skala, främst i forskningssyfte, medan det i framtidsscenarierna antas att hela den tillgängliga askmängden utnyttjas för askåterföring till skogsmark.

Tabell 6 *Kvicksilverinnehåll i askor från flis- och barkförbränning.*

Typ av aska	Hg, mg/kg TS (Rosén-Lidholm m.fl.. 1992)	Hg, mg/kgTS (Rosén-Lidholm m.fl.. 1992)	Typ av aska	Hg, mg/kg TS (Lundborg, 1994)
	min-max	medel/median		medel/median
Flygaska				
från flis och bark	0.059-4	0.09	37 olika askor	0.06
			10-67 flygaskor	0.1
Bottenaska			12-58 bottenaskor	0.005
från flis och bark	0.001-0.05	0.04		

6 Flöden av kvicksilver

6.1 *Kvicksilverflöden vid olika scenarier av biobränsleutnyttjande*

De beräknade kvicksilverflödena vid nutida utnyttjande av biobränslen, och i de två framtidsscenarierna, redovisas i Tabell 7. Beräknade flöden anges inom intervall mot bakgrund av den variationsbredd i kvicksilverinnehåll som redovisas i Tabell 3. I Tabell 7 redovisas också en uppdelning mellan bidrag från sorterat avfall å ena sidan och övriga inkluderade bränslen å andra sidan, eftersom flödesmönstren skiljer sig kraftigt mellan dessa två grupper. I Figur 2 visas de beräknade flödena i de olika scenarierna, dels som totala flöden för samtliga bränslen, inklusive avfall, dels uppdelat på avfall respektive övriga inkluderade biobränslen. I samtliga diagram finns staplar för lägsta och högsta värde i beräknade intervall. De flöden av kvicksilver i och mellan atmosfär, biosfär och tekno-sfär som uppkommer vid olika grad av utnyttjande av biobränslepotentialen redovisas i Figureerna 3-5. I figureerna är medelvärdet i respektive intervall angivet. I Bilaga 1 redovisas beräkningsunderlagen i tabellform där, för avfallet samt för barr, en lägre kvicksilverhalt än maxvärdet i intervallet i Tabell 3 utnyttjas som högsta värde. Detta har skett eftersom maximala värdena i intervallen har bedömts som en orimlig halt i en dominerande andel av ingående material. I bilagan redovisas förutom de tre scenarierna även ett alternativ där i det maximala scenariet, skogsbränsleposten är ansatt till 49 TWh istället för 70 TWh (se kap. 4.2).

De stora skillnaderna i kvicksilverflöden mellan nuvarande och framtida utnyttjande av biobränslen uppkommer dels i ökad mobilisering, "skörd", av kvicksilver i träd- och åkerbränslen, dels som emissioner till luft vid förbränning av ökande mängder biobränslen. En annan skillnad ligger i den förändrade hanteringen av askor. I dagsläget deponeras dessa till övervägande del på askupplag eller deponi medan de i framtiden till stor del beräknas återföras till skogsmark. I nuläget ackumuleras alltså kvicksilvret i askorna i tekno-sfären, med ett förhållandevis långsamt utläckage till luft och vatten. Den relativt stora andel av avverkningsresterna som för närvarande inte tillvaratas blir kvar i skogen med det kvicksilver de innehåller.

Det kvicksilver som i framtiden "skördas" från skogsmark, inklusive ökat tillvaratagande av avverkningsrester, kommer istället för att lämnas kvar i skogen att till stor del emitteras till luft (95%) vid förbränning, medan en mindre andel (4%) återförs till skogsmarken via askåterföring, där det löses ut under en period av tioåret år. Av det kvicksilver som emitteras till luft kommer en del att deponeras inom Sverige och en del att transporteras över landets gränser och deponeras till hav eller i andra länder. Resterande kvicksilver, eller ca 1% av mängden skördad kvicksilver, bestående av icke miljömässigt eller kommersiellt tillgänglig aska, antas bli placerad i deponi där ett långsamt läckage av kvicksilver till miljön sker.

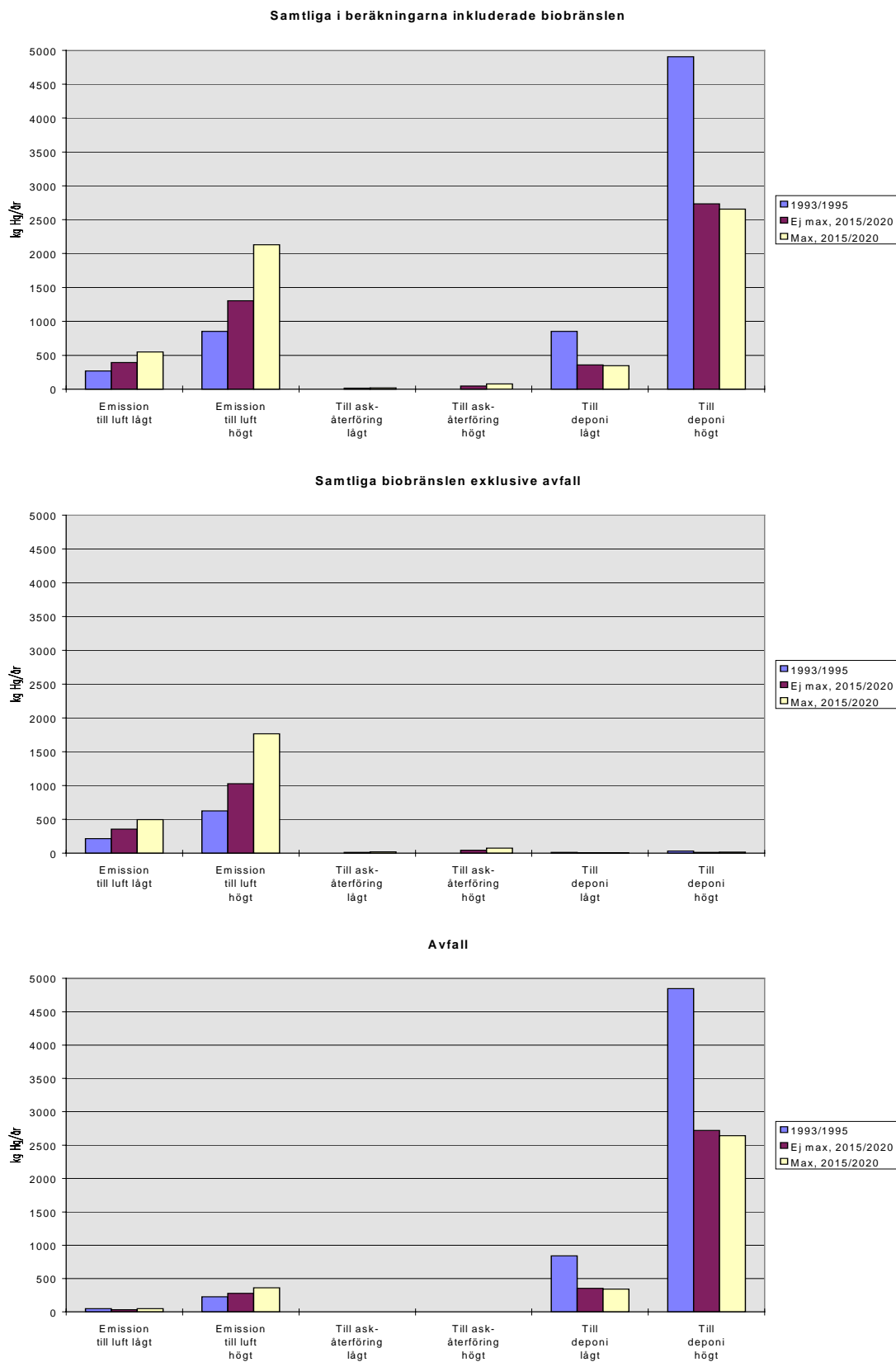
I samtliga beräkningsscenarier antas sammansättningen av skogsbränsle vara lika. I nutidsscenarioet kan emissioner av kvicksilver till luft därför vara något överskattade, eftersom en mindre andel av tillgängliga avverkningsrester tillvaratas. Andelen bark, grenar och barr som förbränns är således mindre än vad fallet kommer vara i framtiden. I dessa träddeklar, framför allt i barr, men också i bark och grenar, kan kvicksilverhalten vara betydligt högre än i stamved.

Förbränningen av större mängder sorterat avfall kommer i framtiden eventuellt att innebära ökade emissioner av kvicksilver till luft. Från nutidsscenarioet förändras emissionerna från intervallet 50-230, till 35-280 i "icke maxscenarioet" och till 50-360 kg Hg/år i det maximala scenarioet. Beräkningar på medelvärdet i intervallen ger en ökning från nutidsscenarioet till det maximala scenarioet på 50%. Bidraget från förbränning av hushållsavfall kommer enligt beräkningsscenarierna att minska eftersom mindre mängder förbränns, medan kvicksilveremissioner till luft från förbränning av industri-, bygg och rivningsavfall kommer öka, eftersom större mängder kommer utnyttjas för förbränning. Den mängd kvicksilver som placeras i deponi beräknas däremot minska, till största delen beroende på ökad kompostering / rötning och effektivare materialåtervinning. Utläcket av kvicksilver från deponier till omgivande miljö beräknas vara långsam. Av en kvicksilvermängd på t. ex. 1 ton som placeras i deponi kommer i storleksordningen 0.1 kg Hg avgå till luft och vatten under överskådlig tid, dvs under årtionden till ett århundrade (se kap 5.3). Under lång tid ackumuleras emellertid stora mängder kvicksilver varför kvicksilverbidraget från deponier ändå kan vara betydande. Uppskattningsvis avgår 0.6-0.8 ton Hg till luft årligen från "vanliga" avfallsdeponier för hushållsavfall och icke branchspecifikt industriavfall, samt askupplag från avfallsförbränning (NV rapport 4177).

I beräkningarna av kvicksilveromsättning i de olika scenarierna förutsätts samma kvicksilverinnehåll i avfallet i framtiden som i nutid. Om halten i ingående avfall minskar eller om sorteringen förbättras, innebär detta att den omsatta mängden kvicksilver från avfall är överskattad i framtidsscenarierna. Detta gäller såväl emissioner till luft som mängden kvicksilver i deponi.

Tabell 7 Skillnader i kvicksilverflöden vid olika utnyttjande av biobränslen (avrundade värden). Intervallen anger beräkningar med lågt-högt kvicksilverinnehåll. Avfall=hushålls- och industriavfall mm., Övrigt=samtliga övriga i beräkningarna ingående biobränslen.

	Totalt mobiliserat / skördat	Emission till luft	Till ask-återföring	Till deponi
	kg Hg/år	kg Hg/år	kg Hg/år	kg Hg/år
Nutid, 77 TWh	1120-5760	270-850	0	850-4900
- Varav avfall, 5 TWh	890-5100	50-230	-	840-4870
- Varav övrigt, 72 TWh	230-660	220-620	-	10-30
Icke max framtid, 108TWh	770-4080	390-1300	15-40	360-2730
- Varav avfall, 7 TWh	390-3000	35-280	-	360-2720
- Varav övrigt, 101 TWh	380-1080	355-1030	15-40	5-10
Max framtid, 160 TWh	910-4860	550-2130	20-70	350-2660
- Varav avfall, 9 TWh	390-3000	50-360	-	340-2640
- Varav övrigt, 151 TWh	520-1860	500-1770	20-70	5-20



Figur 2

Kvicksilverflöden vid olika scenarier av bibränsleutnyttjande. "Lågt" och "högt" anger de intervall som erhålles mot bakgrund av variationsbredden i kvicksilverhalt i olika bränslen. Scenarier: 1993/1995 = nutid, 77 TWh; 2015/2020 icke maximalt utnyttjande av bibränslepotentialen, 108 TWh; 2015/2020 maximalt utnyttjande av bibränslepotentialen, 160 TWh.

6.1.1 Deposition i Sverige och gränsöverskridande transport av kvicksilver

Från avfallsförbränning föreligger sannolikt i princip allt kvicksilver som Hg^0 i de renade rökgaserna eftersom använda rökgasreningsmetoder uppvisar god avskiljning av $Hg(II)$, dvs. partikulärt bundet kvicksilver (se kap 5.2). I rökgaserna från förbränning av bibränslen (exklusive avfall) antas fördelningen mellan partikulärt kvicksilver, $Hg(II)$, och kvicksilver i gasfas, Hg^0 , vara densamma som vid kolförbränning dvs. ca 67% av kvicksilvret föreligger som $Hg(II)$ och resten, 33% som Hg^0 (Prestbo and Bloom 1995). Dessa kvicksilverspecier har olika uppehållstid i atmosfären, där uppehållstiden för Hg^0 är betydligt längre än för $Hg(II)$. Hg^0 kan därför spridas över betydligt större geografiska avstånd. Mot bakgrund av resultaten i en rapport där beräkningar av kvicksilvers spridning från krematorier i Sverige modellerades (Munthe m. fl. 1997), där hänsyn togs till väder- och vindförhållanden i olika geografiska regioner i Sverige, befanns i medeltal 1.4% av emitterad Hg^0 deponeras inom landets gränser medan 61% av $Hg(II)$ deponerades inom landet. Resterande andel av emitterat kvicksilver deponeras utanför Sverige. Totalt beräknas ca 30-35% av emitterat kvicksilver från bibränsleförbränning enligt de tre scenarierna deponeras inom Sverige, se Tabell 8 och Figur 3-5. Som jämförelse kan den årliga totala depositionen av kvicksilver på ca 8 ton till Sverige betraktas. Detta inkluderar kvicksilver från såväl inhemska som internationella källor.

Tabell 8 Beräknad emission till luft, deposition i Sverige, samt gränsöverskridande transport av kvicksilver från bibränsleanvändning enligt beräkningsscenarierna (avrundade värden).

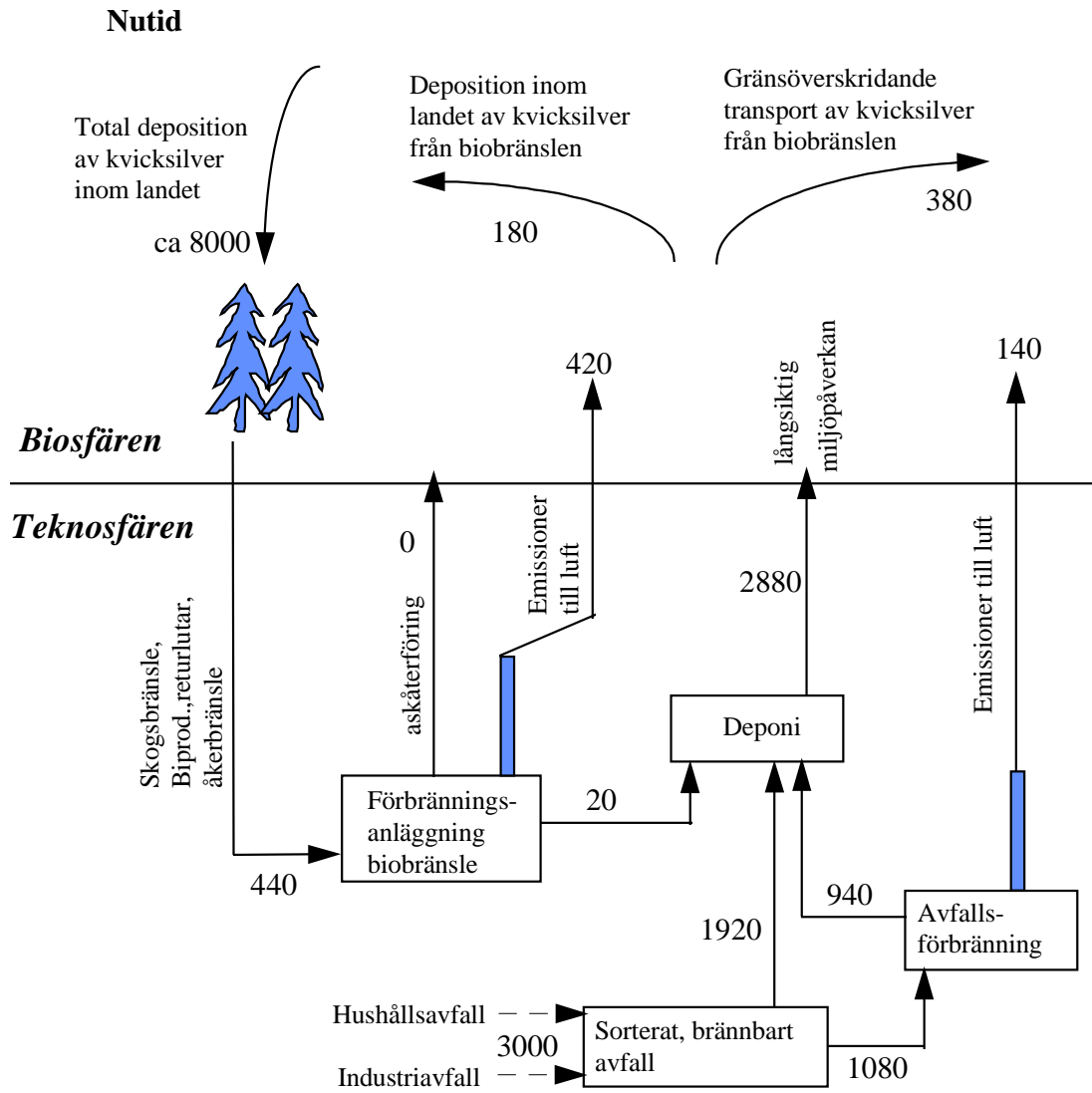
	Emission till luft	Deposition inom Sverige	Gränsöverskridande transport
	kg Hg/år	kg Hg/år	kg Hg/år
Nutid	270-850	90-260	180-590
Ej maximalt, framtid	400-1300	150-430	250-870
Maximalt, framtid	550-2130	210-740	340-1390

Skörd av bibränsle innebär för svenska skogsekosystem en nettobortförelse på mellan ca 300 - 750 kg i de olika scenarierna (beräknat efter data i Figur 3-5). För att jämföra med det totala nedfallet från luft kan en uppskattning göras. I skogsmark är det totala nedfallet från luft ca 20 g/km² år (Munthe m.fl., 1995). Dagen skogsbruk nyttjar årligen aktivt en yta på ca 7 000 km² (avverkning, gallring, röjning) (SCB 1996) varifrån skördat skogsbränsle, och därmed kvicksilver, erhålls. I de använda framtidsscenarierna ökar skogsbränsle- och energiskogsandelen av energiproduktionen med 120 till 300% vilket förmodligen innebär att den årligen aktivt brukade ytan ökar kraftigt, dock inte linjärt. För jämförande beräkningar av kvicksilvermängder har en yta på 15 000 km² använts.

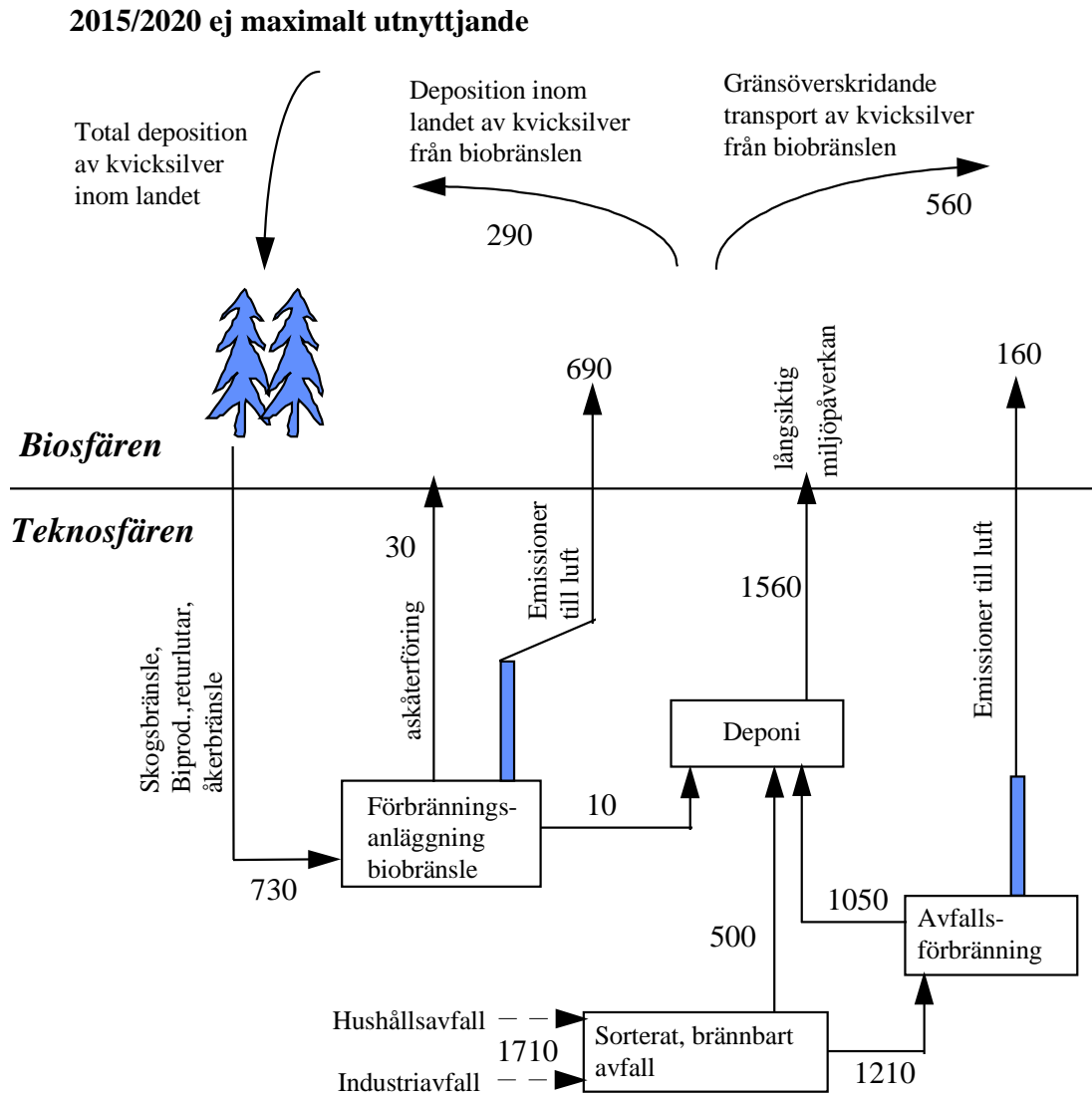
Med ett nedfall på 20 g/km² blir nedfallet av kvicksilver från luft över den aktivt brukade ytan ca 300 kg per år. Den mängd som bortförs med skogsbränslen är alltså av samma storleksordning som det årliga nedfallet av kvicksilver från luften och innebär således en kraftig minskning av belastningen i den aktivt brukade ytan. Bortförelsen med skördat bibränsle kan även jämföras med den totala kvicksilvermängd som finns upplagrad i skogsmarken. Typiska värden för kvicksilverförråden i mark sträcker sig från 13-18 kg/km² i SV Sverige

(Gårdsjöområdet, Bohuslän) (Lee m.fl., 1994) till 8.8 kg/km² i mellansverige (Tiveden) (Aastrup m.fl., 1991). I den aktivt brukade ytan för framtida biobränsleutnyttjande blir således det totala förrådet ca 150 000 kg vilket gör att påverkan från biobränslehanteringen är försumbar i denna jämförelse.

Ur nationell och internationell synvinkel innebär ett framtida utökat utnyttjande av biobränslen att svenska utsläpp av kvicksilver till luft i det närmaste fördubblas (från dagens ca 1000 kg till 2000 - 2300 kg inkl. avfall). De svenska utsläppen av kvicksilver är dock i ett europeiskt perspektiv i det närmaste försumbara (< 0.5% år 1990) varför en fördubbling inte nödvändigtvis leder till någon mätbar förändring av miljöbelastningen. Sverige är dock mycket starkt drivande för att uppnå internationella överenskommelser om utsläppsbegränsningar för kvicksilver varför även små ökningarna kan upplevas som besvärande.

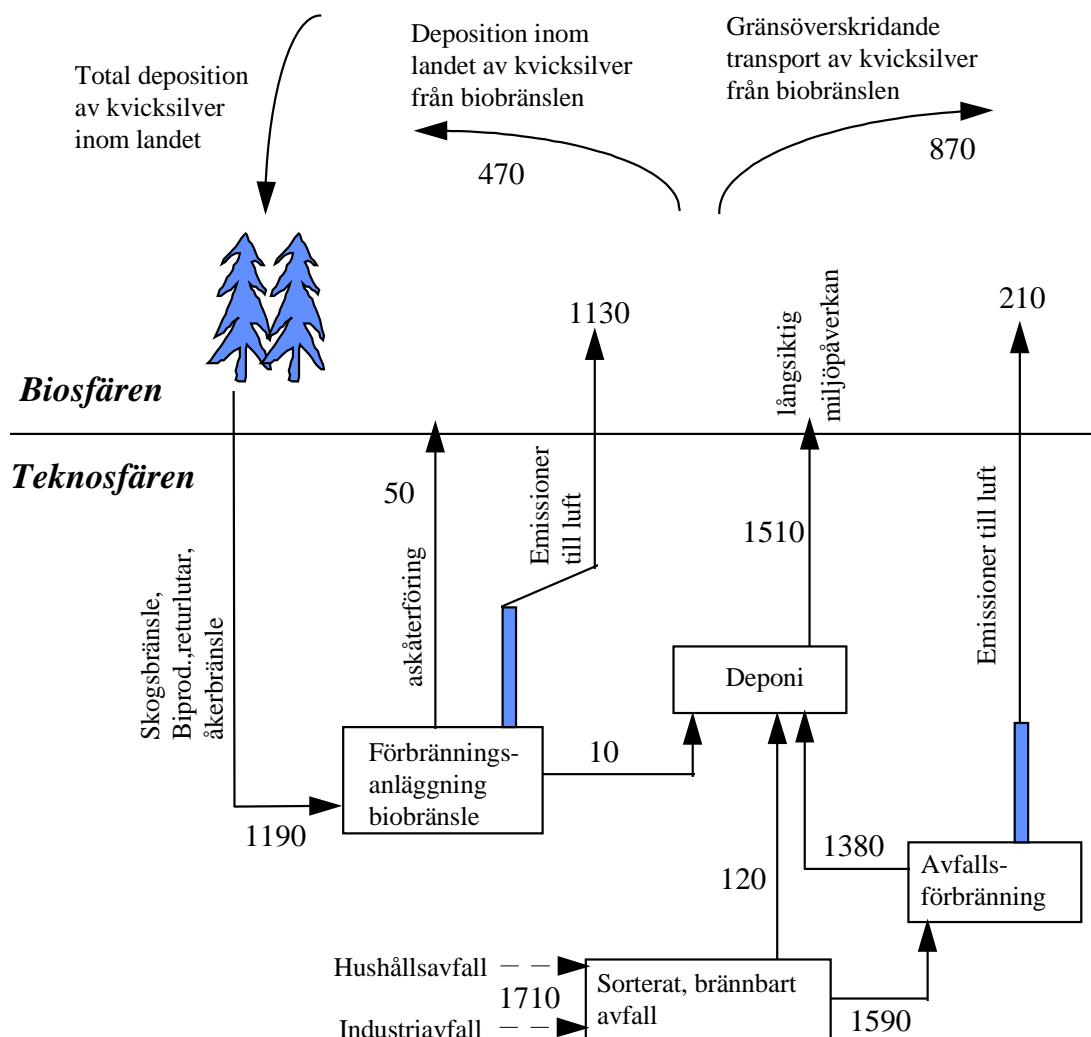


Figur 3 *Kvicksilverflöden, i kg Hg/år, vid nutida (ca 1993/1995) utnyttjande av biobränslen (77 TWh). **OBS** medelvärden av i vissa fall intervall med stor variationsbredd är angivna, se bilaga 1.*



Figur 4 *Kvicksilverflöden, i kg Hg/år, vid framtida (ca 2015/2020) icke maximalt utnyttjande av bibränslepotentialen (108 TWh). OBS medelvärden av, i vissa fall, intervall med stor variationsbredd är angivna, se bilaga 1.*

2015/2020 maximalt utnyttjande av bibränslepotentialen



Figur 5 Kvicksilverflöden, i kg Hg/år, vid framtida (ca 2015/2020) maximalt utnyttjande av bibränslepotentialen (160 TWh). **OBS** medelvärden av, i vissa fall, intervall med stor variationsbredd är angivna, se bilaga 1.

7 Rimligheten i beräknade kvicksilverflöden

Variationsbredden i de beräknade kvicksilverflödena är stor på grund av de i vissa fall stora intervallen av kvicksilverhalt i olika bränslen som redovisas i Tabell 3, kapitel 5.1. För vissa av posterna finns uppgifter i litteraturen som gör att jämförelser av storleksordning ändå kan göras.

Kvicksilveremissioner till luft från avfallsförbränning i Sverige anges av RVF (1994) till 180 kg 1992 och 90 kg 1993. I beräkningarna av nutidsscenarioet ligger motsvarande siffror i intervallet ca 50-230 kg, således i nivå med angivna värden.

Avseende mängden kvicksilver som kan komma att återföras till skogen via askåterföring kan överslagsberäkningar baserade på oberoende litteraturuppgifter göras. Endast askproduktion från träd- och åkerbränslen inkluderas.

I de scenarioberäkningar som är redovisade i denna förstudie beräknas mängden kvicksilver i aska som en restpost efter att en andel, 95%, av det i träd- och åkerbränslet ingående kvicksilvret emitterats till luft vid förbränning. Producerade askmängder samt mängden kvicksilver i återförd aska kan som jämförelse beräknas utifrån oberoende uppgifter om askandel i bränslet samt sammanställda kvicksilverhalter i aska. I jämförelsen har askhalter hämtats från NUTEK m.fl. (1994) och Egnell m. fl. (1998). Kvicksilverhalter i aska har hämtats från litteratursammanställningen i Tabell 6, där 0.05-0.1 mg Hg/kg har använts som intervall. På basis av de mängder bränsle som ingår i de tre scenarierna blir den beräknade *totalt producerade* askmängden för nutidsscenariet ca 130 000 ton, att jämföra med litteraturangivelser på mellan 80-90 000 ton (Egnell m.fl.. 1998) till 100-150 000 ton (NUTEK m. fl. 1994). De framtida askmängder som beräknas vara *lämpade för askåterföring* beräknas på samma sätt bli ca 240 000 resp. ca 370 000 ton i framtidsscenarierna vid icke maximalt resp. maximalt utnyttjande. Här har 80% av producerad askmängd ansatts som tillgängligt för askåterföring, med undantag av aska från returlutar som antas återföras till 100%.

Resultaten av beräknade kvicksilvermängder i aska från träd- och åkerbränslen till deponi för nutidsscenariet, och till askåterföring för framtidsscenarierna, med två oberoende beräkningsunderlag presenteras i Tabell 9. De olika beräkningsvägarna ger väl jämförbara resultat.

Tabell 9 *Jämförelse av beräknade kvicksilvermängder i aska från redovisade scenarioberäkningar, resp. utifrån beräknade askmängder och kvicksilverhalter i aska.*

	Redovisade scenarioberäkningar, utifrån bränslets kvicksilverinnehåll. Restpost efter emissioner till luft	Kvicksilvermängder baserade på beräkningar av producerad askmängd samt utifrån litteraturuppgifter på kvicksilverhalter i aska
	kg Hg/år till askåterföring*	kg Hg/år till askåterföring*
Nutid, 1993/ 1995	11-33 (till deponi)	7-13 (till deponi)
Icke maximalt utnyttjande 2015/2020	15-43	12-24
Maximalt utnyttjande 2015/2020	21-74	18-37

* Nutid, här anges kvicksilvermängden till deponi.

8 Slutsatser

För att utreda hur omsättningen av kvicksilver i svensk miljö påverkas av en utökad bibränsleanvändning har beräkningar genomförts på tre olika scenerier; 1. Dagens situation; 2. Ett ökat bibränsleutnyttjande motsvarande ca 108 TWh och 3. Ett maximalt bibränsleutnyttjande motsvarande 160 TWh. De bränslen som innefattats i beräkningarna är skogsbränsle, skogsindustriella biprodukter, returlutar, energiskog samt sorterat hushålls- och industriavfall. Beräkningarna har syftat till att uppskatta dels den mängd kvicksilver som mobiliseras (i skördad biomassa eller genererat avfall), dels vilken andel som emitteras till luft, deponeras eller återförs som aska till skogsekosystemet. För kvicksilver som emitteras till luft från bibränsleförbränning har även en uppskattning av det framtida nedfallet i Sverige beräknats, liksom den andel som förväntas spridas utanför landets gränser.

Nedan sammanfattas de viktigaste slutsatserna av projektet:

- Det är stora skillnader i kvicksilverflödets mönster mellan sorterat brännbart avfall och de övriga studerade bibränslena. Den mobiliserade mängden kvicksilver är större i brännbart avfall än i övrig bibränsleråvara, i nutidssceneriet i storleksordningen 6 gånger större medan skillnaden i framtiden minskar till en faktor ca 1.5-2.5. Emissionerna till luft från avfallsförbränning är emellertid, på grund av effektivare rökgasrening, mindre än från förbränning av övriga bibränslen, medan kvicksilver som placeras i deponi domineras av kvicksilver från avfall.
- Den skördade mängden kvicksilver i träd och åkerbränslen ökar enligt beräkningarna från i medeltal ca 440 kg Hg/år (230-660) till 730 (380-1080) respektive 1190 (520-1860) kg i de två framtidsscenerierna (108 TWh respektive 160 TWh totalt). För mobiliserad mängd kvicksilver från brännbart sorterat avfall är motsvarande siffror ca 3000 (890-5100) i nutid till ca 1700 (390-3000) i framtiden, dvs. en minskning, på grund av minskande tillgängliga mängder sorterat hushållsavfall.
- Emissionerna till luft från studerade bibränslen, exklusive avfall, ökar från i medeltal 420 kg Hg/år (220-630) till ca 690 kg (360-1030) vid ett icke maximalt utnyttjande av bibränslepotentialen och till ca 1130 kg (500-1770) vid scenariet för maximalt utnyttjande.
- Trots minskande mängder tillgängligt sorterat avfall i framtiden kommer en större mängd än i nutid att förbrännas, vilket innebär kraftigt minskade mängder som deponeras. I max-scenariet för framtiden kommer i stort sett allt tillgängligt brännbart avfall att utnyttjas till förbränning, både hushållsavfall och industriavfall. Under förutsättning att kvicksilverhalterna i avfallet i framtiden är jämförbara med dagens nivåer ökar emissionerna till luft med ca 15%, till medelvärdet 160 kg Hg/år (40-280) respektive med 50%, till 210 kg Hg/år (50-360) i de två framtidsscenerierna jämfört med dagens medelvärde, 140 kg Hg/år (50-230).

- Av det kvicksilver som emitteras till luft kommer ca 30-35% att falla ner som torr- och våtdeposition i Sverige medan resterande ca 65-70% transporteras utanför landets gränser.
- Den dominerande mängden av kvicksilver placerat i deponi, ca 99% i alla scenarier, härrör från sorterat avfall, antingen via direkt deponering eller som rökgasreningsprodukter från förbränning.
- Den största andelen av det kvicksilver som mobiliseras vid skörd av biobränslen kommer att stanna kvar i cirkulation, antingen via den dominerande vägen, emissioner till luft, eller via askåterföring.
- Askåterföring innebär att 30 respektive 50 kg kvicksilver som medelvärde (motsvarande ca 4% av det totalt bortförda) återförs till skogsekosystemet i de två framtidsscenarierna. Från atmosfäriskt nedfall (med ursprung i biobränsleförbränning, inkl avfall) tillförs ytterligare 290 resp. 470 kg kvicksilver inom Sverige (motsvarande ca 40% av det totalt bortförda). Den totalt återförda mängden kvicksilver till Sveriges yta är 320 respektive 520 kg, motsvarande 44% av det bortförda.
- Skörd av biobränsle innebär för svenska skogsekosystem en nettobortförel på ca 300 kg/år i nutid, till ca 750 kg/år i det maximala framtidsscenariet. I skogsmark är det totala nedfallet från luft f. n. ca 20 g/km² år (Munthe m.fl., 1995). Den mängd som enligt scenarierna bortförs med skogsbränslen beräknas vara av samma storleksordning som det årliga nedfallet av kvicksilver från luften till den aktivt brukade ytan, och innebär således en kraftig minskning av belastningen.
- Ett framtida utökat utnyttjande av biobränslen innebär att svenska utsläpp av kvicksilver till luft i det närmaste fördubblas (från dagens ca 1000 kg till 2000 - 2300 kg inkl. avfall). De svenska utsläppen av kvicksilver är dock i ett europeiskt perspektiv i det närmaste försumbara (< 0.5% år 1990) varför en fördubbling inte nödvändigtvis leder till någon mätbar förändring av miljöbelastningen. Sverige är dock mycket starkt drivande för att uppnå internationella överenskommelser om utsläpps begränsningar för kvicksilver varför även små öknings kan upplevas som besvärande och leda till krav på utsläpps begränsande åtgärder.

Bilaga 1 Beräkningar

28

År 1993/1995

Bränsletyp	Energi- mängd TWh	Omräknings- faktor** MMWh/ton TS	Mängd** Ton TS	Hg		Emissions- faktor	Emission		Till ask- återföring		Till deponi	
				innehåll lägt g/ton TS	innehåll högt g/ton TS		till luft lägt kg Hg/år	till luft högt kg Hg/år	lägt kg Hg/år	högt kg Hg/år	lägt kg Hg/år	högt kg Hg/år
<u>Skogsbränsle</u>	23.5		4.43E+06									
Totalt	5.3		1330189	0.01 -	0.015	0.95	13 -	19	0 -	0	0.7 -	1.0
Stamved	5.3		221698	0.038 -	0.2	0.95	8 -	42	0 -	0	0.4 -	2.2
Bark	5.3		2216981	0.01 -	0.1	0.95	21 -	211	0 -	0	1.1 -	11.1
Grenar	5.3		665094	0.033 -	0.2	0.95	21 -	126	0 -	0	1.1 -	6.7
Barr	5.3						63 -	398	0 -	0	3 -	21
<u>Skogsindustriens biprodukter</u>	16.5											
Bark	12.5		2.36E+06	0.038 -	0.057	0.95	85 -	128	0 -	0	4.5 -	6.7
Flis	4		7.55E+05	0.01 -	0.015	0.95	7 -	11	0 -	0	0.4 -	0.6
Returlutar	32	3.3 0.65 ^{max}	6.30E+06	0.01 -	0.015	0.95	92 -	138	0 -	0	5 -	7
<u>Åkerbränsle</u>	0		0.00E+00	0.03 -	0.07	0.95	60 -	90	0 -	0	3.2 -	4.7
Energiskog	5.1						60 -	90	0 -	0	3 -	5
Summa biobränslen	72						215 -	626	0 -	0	11 -	33
<u>Avfall till förbränning***</u>	5											
Sort. Hushåll	3.3	2.6	1.27E+06	0.3 -	1	0.13	50 -	165	0 -	0	331 -	1104
Sort. Industri	1.7	3.6	4.72E+05	0.045 -	1	0.13	3 -	61	0 -	0	18 -	411
<u>Avfall till deponi</u>												
Hushåll			1.33E+06	0.3 -	1						399 -	1331
Industri			2.03E+06	0.045 -	1						91 -	2028
Summa avfall	5						52 -	226	0 -	0	840 -	4874
Summa totalt	77						267 -	853	0 -	0	852 -	4907

År 2015/2020, icke maximalt utnyttjande av biobränslepotentialen

Bränsletyp	Energi- mängd TWh	Omräknings- faktor** MWh/ton TS	Mängd** Ton TS	Hg innehåll		Emissions- faktor	Emission till luft		Till ask- återföring		Till deponi	
				låg g/ton TS	hög g/ton TS		låg kg Hg/år	hög kg Hg/år	låg kg Hg/år	hög kg Hg/år	låg kg Hg/år	hög kg Hg/år
Skogsbränsle	30											
Totalt		5.3	5.66E+06	0.01 -	0.015	0.95	16 -	24	1 -	1	0.2 -	0.3
Stamved		5.3	1698113				10 -	54	0 -	2	0.1 -	0.6
Bark		5.3	283019	0.038 -	0.2	0.95	27 -	269	1 -	11	0.3 -	2.8
Grönar		5.3	2830189	0.01 -	0.1	0.95	27 -	161	1 -	7	0.3 -	1.7
Barr		5.3	849057	0.033 -	0.2	0.95	80 -	508	3 -	21	1 -	5
Skogsindustrins	17											
Bark	12.8	5.3	2.41E+06	0.038 -	0.057	0.95	87 -	130	4 -	5	0.9 -	1.4
Fils	4.3	5.3	8.02E+05	0.01 -	0.015	0.95	8 -	11	0 -	0	0.1 -	0.1
				-	-		94 -	142	4 -	6	1 -	1
Returlutar	32	3.3	6.30E+06	0.01 -	0.015	0.95	60 -	90	3 -	4	0.6 -	0.9
				-	-		60 -	90	3 -	4	1 -	1
Åkerbränsle	22	5.1	4.31E+06	0.03 -	0.07	0.95	123 -	287	5 -	12	1.3 -	3.0
Summa biobränslen	101						357 -	1027	15 -	43	4 -	11
Avfall till	7											
förbränning****												
Hushåll/	1.8	2.6	6.92E+05	0.3 -	1	0.13	27 -	90	0 -	0	181 -	602
Industri	5.2	3.6	1.44E+06	0.045 -	1	0.13	8 -	188	0 -	0	57 -	1257
Avfall till deponi												
Hushåll/			3.08E+05	0.3 -	1						92 -	308
Industri			5.56E+05	0.045 -	1						2.5 -	556
Summa avfall	7						35 -	278	0 -	0	355 -	2722
Summa totalt	108						393 -	1304	15 -	43	358 -	2733

År 2015/2020, maximalt utnyttjande av bibränslepotentialen

Bränsletyp	Energi- mängd TWh	Omräknings- faktor** MWh/ton TS	Mängd** Ton TS	Hg		Emissions- faktor	Emission		Till ask- återföring		Till deponi	
				innehåll lägt g/ton TS	innehåll högt g/ton TS		till luft lägt kg Hg/år	till luft högt kg Hg/år	till ask- återföring lägt kg Hg/år	till ask- återföring högt kg Hg/år	till deponi lägt kg Hg/år	till deponi högt kg Hg/år
Skogsbränsle	70	5.3	1.32E+07									
<i>Totalt</i>				0.01 -	0.015	0.95	38 -	56	2 -	2	0.4 -	0.6
<i>Stamved</i>				0.038 -	0.2	0.95	24 -	125	1 -	5	0.3 -	1.3
<i>Bark</i>				0.01 -	0.1	0.95	63 -	627	3 -	26	0.7 -	6.6
<i>Grevar</i>				0.033 -	0.2	0.95	62 -	376	3 -	16	0.7 -	4.0
<i>Barr</i>							186 -	1186	8 -	50	2 -	12
Skogsindustrins biprodukter	18	5.3	2.55E+06	0.038 -	0.057	0.95	92 -	138	4 -	6	1.0 -	1.5
<i>Bark</i>	13.5	5.3	8.49E+05	0.01 -	0.015	0.95	8 -	12	0 -	1	0.1 -	0.1
<i>Flis</i>	4.5	5.3										
Returlutar	38	3.3	0.65^{mm}	0.01 -	0.015	0.95	71 -	107	3 -	4	0.7 -	1.1
<i>Returlutar</i>							71 -	107	3 -	4	1 -	1
Åkerbränsle	25	5.1	4.90E+06	0.03 -	0.07	0.95	140 -	326	6 -	14	1.5 -	3.4
<i>Åkerbränsle</i>							140 -	326	6 -	14	1 -	3
Summa bibränslen	151						497 -	1768	21 -	74	5 -	19
Avfall till förbränning****	10											
<i>Hushåll</i>	2.6	2.6	1.00E+06	0.3 -	1	0.13	39 -	130	0 -	0	261 -	870
<i>Industri</i>	6.4	3.6	1.78E+06	0.045 -	1	0.13	10 -	231	0 -	0	70 -	1547
Avfall till deponi				0.3 -	1						0 -	0
<i>Hushåll</i>			0.00E+00	0.045 -	1						10 -	222
<i>Industri</i>			2.22E+05								341 -	2639
Summa avfall	10						49 -	361	0 -	0	341 -	2639
Summa totalt	161						547 -	2129	21 -	74	346 -	2658

År 2015/2020, maximalt utnyttjande av bibränslepotentialen
Alternativ med Skogsbränsleutnyttjande på 49 TWh istället för 70 TWh

Bränsletyp	Mängd**		innehåll g/ton TS	innehåll g/ton TS	faktor	till luft kg Hg/år	till luft kg Hg/år	återföring kg Hg/år	återföring kg Hg/år	lägt kg Hg/år	högt kg Hg/år
	TWh	MWh/ton TS									
Skogsbränsle	49										
Totalt		5.3	9,25E+06	0.01 -	0.95	26 -	40	1 -	2	0.3	0.4
Stamved		5.3	2773585	0.038 -	0.95	17 -	88	1 -	4	0.2	0.9
Bark		5.3	462264	0.01 -	0.95	44 -	439	2 -	18	0.5	4.6
Grönar		5.3	4622642	0.033 -	0.95	43 -	263	2 -	11	0.5	2.8
Barr		5.3	1386792			130 -	830	5 -	35	1	9
Skogsindustrins biprodukter	18										
Bark	13.5	5.3	2,55E+06	0.038 -	0.95	92 -	138	4 -	6	1.0	1.5
Flis	4.5	5.3	8,49E+05	0.01 -	0.95	8 -	12	0 -	1	0.1	0.1
				-		100 -	150	4 -	6	1	2
Returlutar	38	3.3	7,48E+06	0.01 -	0.95	71 -	107	3 -	4	0.7	1.1
				-		71 -	107	3 -	4	1	1
Åkerbränsle	25	5.1	4,90E+06	0.03 -	0.95	140 -	326	6 -	14	1.5	3.4
Summa bibränslen	130					441 -	1413	19 -	59	5	15
Avfall till förbränning****	9										
Hushåll	2.6	2.6	1,00E+06	0.3 -	0.13	39 -	130	0 -	0	261	870
Industri	6.4	3.6	1,78E+06	0.045 -	0.13	10 -	231	0 -	0	70	1547
Avfall till deponi			0,00E+00	0.3 -						0	0
Industri	9		2,22E+05	0.045 -		49 -	361	0 -	0	10	222
Summa avfall										341	2639
Summa totalt	139					491 -	1774	19 -	59	345	2654

*värmevärdet enl. Elforsk rapport 95:1B

**Fördelning av träddelar i flis enl. "Åskåterföringsystem", NUTEK m. fl. 1994.

***20-25 TWh enligt A. Lundborg och G. Hovsenius

**** Värmev. enl. RVF: Hushållsavf. = 3.06, Industriavf. = 4.17, används ej.

† I skogsind. biprod. ingår 6.5-8.5 TWh bark från massaindustrin samt ca 5-5.5 TWh bark och 6-6.5 TWh flis, såg- och kutterspan från sågverk (SIMS)
‡ andel biomassa i luten

REFERENSER

Aastrup, M., Johnson, J., Bringmark, E., Bringmark, L., och Iverfeldt, Å. Occurrence and transport of mercury within a small catchment area. *Water, Air, Soil Pollut.*, **56**, 155-167, 1991.

Andersson, B. (1991). Bränsle från skogen. Rapport U(B) 1991/18 från Vattenfall.

Aulin, C., Neretnieks, I. (1995). Material balance for an industrial landfill. Proceedings Sardinia 95, Fifth International Landfill Symposium, S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy.

Boman, U. (1991). Biobränslen i det svenska energisystemet, en modellstudie. Vattenfall rapport 1991/33

Boström C-Å. pers komm.

Burvall, J. (1986). Cirkelanalys av biobränslen. Utvärdering av analysmetoder. Statens Lantbrukskemiska Laboratorium. Rapport nr 45.

Egnell, G., Nohrstedt, H.-Ö., Weslien, J., Westling, O. och Örlander, G. (1998). Miljökonsekvensbeskrivning (MKB) av skogsbränsleuttag, asktillförsel och övrig näringskompensation. Skogsstyrelsen Rapport 1:1998.

Elforsk rapport 95:1B. Handbok för Branchrapport, emissioner och tillståndsvillkor, kraft- och värmebranchen.

Elforsk rapport 96:9. Ett uthålligt elsystem för Sverige. En vision för år 2050.

Finnveden, G., Albertsson, A-C., Berendson, J., Eriksson, E., Höglund, L-O., Karlsson, S. Sundqvist, J-O.(1995). Solid waste treatment within the framework of Life-Cycle Assessment. Accepted for publication in Journal of Cleaner Production.

Finnveden, G., (1995). Solid waste treatment within the framework of life-cycle assessment. ". Metals in municipal solid waste landfill. Submitted to Int. J. of LCA.

Gärdenäs, S. pers kom.

Hektor, B., Lönner, G. och Parikka M. (1995). Trädbränslepotential i Sverige på 2000-talet. Ett uppdrag för energikommissionen. Sveriges Lantbruksuniversitet, SIMS

Johnsson, L. (1995). Tungmetaller i träd och energigrödor - en litteraturstudie. Vattenfall rapport 1995/5.

Kretsloppsdelegationen (1998). Biomassa - en nyckelresurs. Rapport 1998:20.

Lee, Y.-H., Borg, G. Ch., Iverfeldt, Å. and Hultberg, H. Fluxes and turnover of methylmercury: Mercury pools in forest soils. *Mercury as a Global Pollutant - Integration and Synthesis*. Watras, C.J. and Huckabee, J.W. (Eds.), Lewis Publishers, 1994, Boca Raton, USA, p 329-341.

Lindquist, O. (ed.) m.fl. (1991). Mercury in the Swedish Environment. *Water, Air and Soil Pollution*, **55**.

Lundborg, A. (1994). Skogsbränsle, aska och ekologi. Projekt Skogskraft Rapport nr 21. Vattenfall rapport 1994/6.

Lundborg, A. (1995) Skogsbränsle och miljön. Vattenfall.

Mingarini, K. Frostell, B., Sundqvist, J.-O. (1995). System analysis of organic waste - the incineration and landfill models. I Life Cycle Assessment and Treatment of Solid Waste. Proceedings of the International Workshop, September 28-29, 1995. AFR rapport 98.

Munthe, J., Hultberg, H. and Iverfeldt, Å. (1995). Mechanisms of deposition of mercury and methylmercury to coniferous forests. *Water, Air, Soil Pollution* **80**, 363-371, 1995.

Munthe, J., Lee, Y.-H., Hultberg, H., Iverfeldt, Å., Borg, G. Ch. and Andersson, I. (1998). Cycling of Mercury and Methyl Mercury in the Gårdsjön Catchments. I Experimental Reversal of Acid Rain Effects: The Gårdsjön Roof project, ed. Hultberg och Skeffington. John Wiley & Sons Ltd.

Munthe, J., Pleijel, K., Schager, P., Peterson, K., Kindbom, K. (1997). Emissioner av kvicksilver från krematorier - spridning, miljöeffekter och effekter av selen tillsats. IVL B 1270.

Naturvårdsverket, Statens Energiverk (1986). Energi ur avfall. Rapport 1986:6.

Naturvårdsverket (1989). Ett miljöanpassat energisystem. Rapport 3724, 1989:3

Naturvårdsverket (1993). Avvecklingen av vårt dolda kvicksilverlager. SNV rapport 4177.

Naturvårdsverket (1993). Källsorterat hushållsavfall - kompostering och förbränning. SNV rapport 4185 / RVF rapport 1993:2.

Naturvårdsverket () Rapport 4192.

Naturvårdsverket (1996). Aktionsplan Avfall. NV rapport 4601.

Naturvårdsverket (1997). Kapaciteten för förbränning av organiskt avfall. Redovisning av regeringsuppdrag, Dnr 641-535-97.

NUTEK (1994). Avfall-94. Rapport 1994:17.

NUTEK, Sydkraft, Vattenfall utveckling (1994). Askåterföringssystem. Tekniker och möjligheter. Rapport R 1994:3.

Prestbo, E. M., Bloom, N. S. (1995). Mercury Speciation Adsorption (MESA) Method for Combustion Flue Gas: Methodology, Artifacts, Intefcomparison and Atmospheric Implications. *Water, Air and Soil Pollut.* Vol 80, 1995

Rosén-Lidholm, S., Sundell, P. Dahlberg, H. och Welander, L. (1992). Bioenergins miljö- och hälsoeffekter. Vattenfall rapport 1992/52 samt bilaga i SOU 1992:91.

SCB (1996). Naturmiljön i siffror. Femte utgåvan.

SOU 1992:90. Biobränslen för framtiden. Slutbetänkande av biobränslekommissionen.

SOU 1992:91. Biobränslen för framtiden. Bilagedel.

SOU 1995:139. Omställning av energisystemet. Slutbetänkande av Energikommissionen.

Svenska Renhållningsverks-Föreningen (RVF) (1994). Avfallsförbränning. Energi och miljö. Faktapärm.

Svenska Renhållningsverksföreningen (RVF) (1995). Svensk avfallshantering år 2000... eller strax därefter. RVF rapport 1995:13.

IVL Svenska Miljöinstitutet AB

IVL är ett oberoende och fristående forskningsinstitut som ägs av staten och näringslivet. Vi erbjuder en helhetssyn, objektivitet och tvärvetenskap för sammansatta miljöfrågor och är en trovärdig partner i miljöarbetet.

IVLs mål är att ta fram vetenskapligt baserade beslutsunderlag åt näringsliv och myndigheter i deras arbete för ett bärkraftigt samhälle.

IVLs affärsidé är att genom forskning och uppdrag snabbt förse samhället med ny kunskap i arbetet för en bättre miljö.

Forsknings- och utvecklingsprojekt publiceras i

IVL Rapport: IVLs publikationsserie (B-serie).

IVL Nyheter: Nyheter om pågående projekt på den nationella och internationella marknaden.

IVL Fakta: Referat av forskningsrapporter och projekt.

IVLs hemsida: www.ivl.se

Forskning och utveckling som publiceras utanför IVLs publikationsserie registreras i IVLs A-serie.

Resultat redovisas även vid seminarier, föreläsningar och konferenser.



IVL Svenska Miljöinstitutet AB

Box 210 60, SE-100 31 Stockholm
Hälsingegatan 43, Stockholm
Tel: +46 8 598 563 00
Fax: +46 8 598 563 90

IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd

Box 470 86, SE-402 58 Göteborg
Dagjämningsgatan 1, Göteborg
Tel: +46 31 725 62 00
Fax: +46 31 725 62 90

Aneboda, SE-360 30 Lammhult
Aneboda, Lammhult
Tel: +46 472 26 20 75
Fax: +46 472 26 20 04