

**Rapport 1999:1**

# **Minskade koldioxidutsläpp genom förändrad material- användning**

en förstudie



**Statistiska centralbyrån**  
Statistics Sweden

Rapport 1999:1

**Minskade koldioxidutsläpp genom förändrad  
materialanvändning  
- en förstudie**

## *Environmental accounts*

### Reduced emissions of carbondioxide through changed use of materials – a pilot study

Statistics Sweden  
1999

Från trycket Mars 1999  
Producent SCB

© 1999 Statistiska centralbyrån

ISSN 1403-1337  
ISBN 91-618-1015-0

Tryck: SCB-Tryck, Örebro 1999

# Förord

---

Möjligheterna att minska utsläppen av koldioxid är idag en viktig fråga. Begrepp som "dematerialisering" och "faktor 10" har delvis uppkommit som en följd av insikten, att en stor del av koldioxidutsläppen är förknippade med energiåtgången för produktion, transport och bearbetning av material. En minskad materialanvändning kan därigenom leda till minskade koldioxidutsläpp. Studier över möjligheterna att minska koldioxidutsläppen koncentrerar sig dock oftast på energi- och transportsektorerna, som genom sin användning av fossila bränslen har en central betydelse för koldioxidutsläppen. Genom att också följa materialanvändningen ges möjlighet att studera fler åtgärder som indirekt påverkar energi- och transportbehoven, samtidigt som koldioxidkällor som är direkt förknippade med viss materialanvändning också kan inkluderas i analysen.

Kombinerade energi- och materialanalyser genomförs också på flera håll. Denna rapport utgår från en studie i Holland, där kostnadseffektiva åtgärder för att minska koldioxidutsläpp har undersökts. Vårt syfte har varit att översiktligt studera potentialen för att i Sverige genomföra de viktigaste åtgärderna i den holländska studien.

Rapporten är ett led i utvecklingsarbetet av materialflödesbeskrivningar inom miljöräkenskaperna. Den är en förstudie med tonvikt på framtida möjligheter att genomföra olika typer av analyser, under förutsättning att mer statistik på området utvecklas. Ansvarig för rapporten har varit Sofia Ahlroth.



# Innehåll

---

<b>1. Inledning</b>	<b>7</b>
<b>2. Beskrivning av den holländska studien</b>	<b>10</b>
2.1 <i>Förändringar i råvaruproduktionen</i>	13
Stål	13
Aluminium	13
Cement	14
Simuleringsresultat för övriga material	14
2.2 <i>Materialsstitution i produkter</i>	15
Byggnader	15
Bilar	15
Lastpallar	15
<b>3. Jämförelse av resultaten för Holland med svenska förhållanden</b>	<b>16</b>
3.1 <i>Stål</i>	16
3.2 <i>Aluminium</i>	17
3.3 <i>Cement</i>	19
3.4 <i>Reducering av bränsleförbrukningen för lastbilar och personbilar</i>	20
Andra beräkningar av bränslesnålare bilar	22
3.5 <i>Byggnader</i>	23
3.6 <i>Träproduktionen och användningen i Sverige</i>	24
<b>4. Sammanfattning och kommentarer</b>	<b>26</b>
4.1 <i>Sammanställning av resultaten</i>	26
Naturvårdsverkets beräkningar av åtgärder i energi- och transportsektorn	27
4.2 <i>Relatering till branschutsläpp</i>	28
Andra utsläpp som påverkas av åtgärderna	29
4.3 <i>Fortsatta studier</i>	29
<b>Referenser</b>	<b>31</b>



# 1. Inledning

---

En stor del av de åtgärder som kan vidtas för att minska koldioxidutsläppen i samhället är materialrelaterade i den meningen att de antingen är förknippade med att minska materialanvändningen för att minska energiåtgången i produktion, transport och bearbetning av material, eller med att minska energiförbrukningen i råvaruproduktionen. Även om termen "dematerialisering" först de senaste åren börjat bli mer allmänt spridd är själva innebörden inte ny. Strävan att minska vikten och volymen på olika varor har accelererat under det senaste decenniet. Återvinning är inte heller något nytt; inom branscher som järn-, stål- och metallindustrin och massa- och pappersindustrin har återvinning och tillvaratagande av restenergi varit en integrerad del av verksamheten sedan länge. Studier över möjligheterna att minska koldioxidutsläppen koncentrerar sig emellertid oftast på energi- och transportsektorerna, eftersom de är så centrala för frågeställningen och åtgärderna i dessa sektorer är lättare att överblicka än åtgärder i den heterogena industrisektorn.

Dolph Gielen och Paul Okken vid Centrum för energiforskning (ECN) i Holland har gjort en studie över kostnadseffektiva åtgärder för att minska CO<sub>2</sub>-utsläppen, där de utvecklat en integrerad modell för energi- och materialsystemen i Holland för perioden 2000-2040.<sup>1</sup> I studien analyseras materialanvändningens betydelse för CO<sub>2</sub>-utsläppen. Energisystemet innefattar produktion och användning av energi; användningen brukar delas in grovt i uppvärmning, transporter och industriproduktion. Reduceringen av energiförbrukningen och utsläppen från denna studeras i allmänhet framförallt för energiproduktion, transporter och uppvärmning. Industriproduktionen däremot är heterogen och därmed svårmodellerad. Genom att följa materialströmmar kan man emellertid studera möjligheter att minska energiförbrukningen som annars ofta inte beaktas i analyser på den övergripande nationella nivån. Gränsen mellan energi- och materialsystemet är i många fall flytande, men utsläpp tillskrivs här materialsystemet i de fall de är kopplade till produktion och användning av material.

Syftet med denna rapport är att översiktligt studera potentialen för CO<sub>2</sub>-reduktion i Sverige för de material och produkter som gav den största reduktionen i studien för Holland, och att därmed ge ett underlag för vidare studier.

Resultatet av Gielens och Okkens analys är att en 60-procentig reduktion av CO<sub>2</sub>-utsläppen kan göras billigare om även materialsystemet tas med i analysen, eftersom man då slipper ta till några av de dyraste åtgärderna inom energisystemet för att nå målet. Studiens tyngdpunkt ligger emellertid inte i

---

<sup>1</sup> Gielen & Okken, [1994 a,b,c].



kostnadsbeskrivningen utan i att ge en mer övergripande bild av möjligheterna att reducera energiförbrukningen. Materialsystemet omfattar materialens hela livscykel, från produktionen av råmaterialet och tillverkningen av olika varor, till användningen av varorna och slutligen omhändertagandet av varorna som avfall. Att inkludera materialsystemet i analysen innebär att man inkluderar fler möjligheter att reducera energiförbrukningen, framförallt inom industrin, samt att vissa CO<sub>2</sub>-källor beaktas som inte har direkt med energiförbrukning att göra.

Minskningen av CO<sub>2</sub>-utsläppen i studien sker integrerat i energi- och materialsystemet: t.ex. kan byte av material ge lägre energiförbrukning både under råvaruproduktionen och användningsfasen. En minskad materialanvändning ("dematerialisering") samt ökad återvinning ger också ofta drastiskt minskad energiförbrukning. I dessa fall sker CO<sub>2</sub>-reduktionen i strikt mening i energisystemet, men reduceringsmöjligheterna hade inte beaktats om inte även materialsystemet hade studerats. Därutöver kan också processutsläppen<sup>2</sup> vid materialproduktionen reduceras, t.ex. vid produktion av cement och aluminium.

I studien har en modell använts för att simulera vilka åtgärder som blir kostnadseffektiva att sätta in och vilken den totala effekten blir. Grunden är en energimodell, MARKAL, som utvecklats vid International Energy Agency (IEA) och som används för energianalyser i många länder, bl.a. Sverige. Till energisystemet i MARKAL läggs en representation av materialsystemet, bestående av olika teknologier för att framställa material och produkter. Tillsammans med liknande uppgifter för energisystemet samt antaganden om kostnader och tillgänglighet av olika bränslen och material kan en optimal mix av teknologier och användning av olika material och bränslen framräknas, som uppfyller de givna behoven av energi och produkter.

Till modellen har Gielen och Okken tagit fram data över energiförbrukning och CO<sub>2</sub>-utsläpp för de olika stadierna i materialets/produktens liv: råvaruproduktion, varuproduktion, användning, återanvändning, återvinning, förbränning och deponering. Ett stort antal material studeras, varav de största är trä, stål, aluminium, plast och cement.

Studien indikerar att de åtgärder som bidrar mest till CO<sub>2</sub>-reduktionen i materialsystemet är:

- byte av material i person- och lastbilar: aluminium istället för stål
- byte av material i byggnader: tegel/betongbyggnader ersätts av byggnader med trästomme eller stålstomme
- byte av material i lastpallar: plast istället för trä
- byte av material i förpackningar: aluminium och plast istället för glas
- ökad användning av returförpackningar istället för engångsförpackningar

---

<sup>2</sup> Processutsläpp är utsläpp vid produktionen som inte beror på processens energiförbrukning, t.ex. för upphettning av metaller till flytande form, utan på att ämnen frigörs av andra orsaker (t.ex. kolstavar i elektrolys eller svavel ur malm vid metallutvinning).

- förändrad avfallshantering
- förändrad råvaruproduktion: byte av processteknik
- ökad återvinning av bl.a. stål och aluminium.

Nettoresultatet är att användningen av cement minskar, medan trä och aluminium ökar. Stålanvändningen blir i stort sett oförändrad. Dessutom ändras avfallshanteringen; visst avfall är effektivast att återvinna, annat att förbränna. För byggnader/infrastruktur och förpackningar är produktionen av råmaterial viktigast ur energi/CO<sub>2</sub>-perspektiv. För transportrelaterade varor är materialet viktigt eftersom viktminskning innebär bränsleminskningar.

I Sverige har åtgärder för att reducera koldioxidutsläppen studerats i en mängd olika sammanhang. Bl.a. har Profu i Göteborg AB, Energidata Göteborg AB och VBB Trafikplanering gjort en studie med MARKAL för Naturvårdsverket över kostnadseffektiva åtgärder för att minska koldioxidutsläppen.<sup>3</sup> Där studeras åtgärder i transportsektorn och energisektorn. De typer av åtgärder som studeras är bl.a. byte av drivmedel, fordonstekniska åtgärder, energieffektiviseringar av bostäder och lokaler och byte av energikällor i energisektorn.

En studie som innefattar materialsystemet på det sätt som Gielen och Okken gjort för Holland finns emellertid inte. Vi ska här ge en översikt över de områden där de största CO<sub>2</sub>-reduceringarna har kunnat uppnås, och sedan gå igenom förutsättningarna i Sverige för en CO<sub>2</sub>-reducering på dessa områden. De innefattar råvaruproduktion av stål, aluminium och cement. Vi tar upp ökad användning av trä i byggsektorn, men inte åtgärder för att minska energiförbrukningen vid själva råvaruproduktionen av trä och trävaror. Här ges endast en kortfattad orientering om den svenska trävaruindustrin. Vidare undersöker vi potentialen för CO<sub>2</sub>-reduktion genom ökad användning av aluminium istället för stål i personbilar och lastbilar.

---

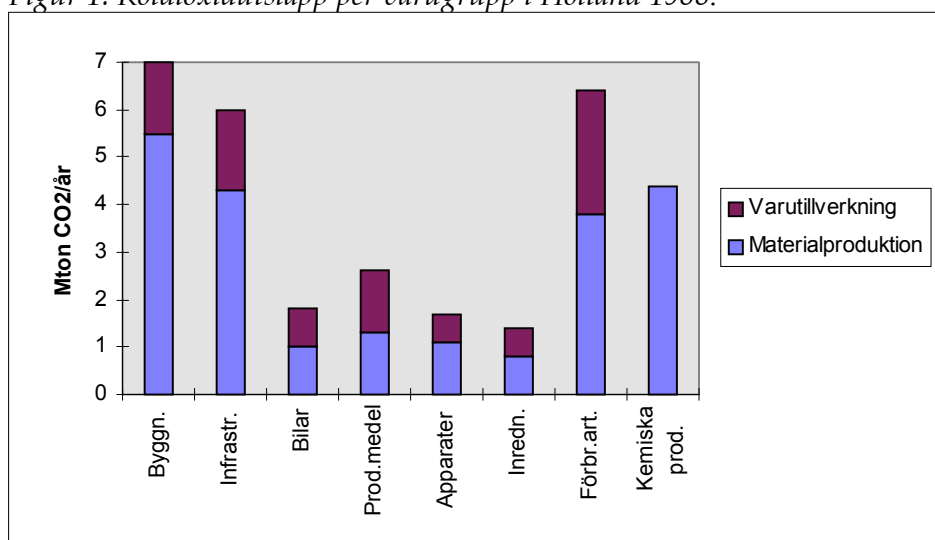
<sup>3</sup> Naturvårdsverket [1996 b].

## 2. Beskrivning av den holländska studien

---

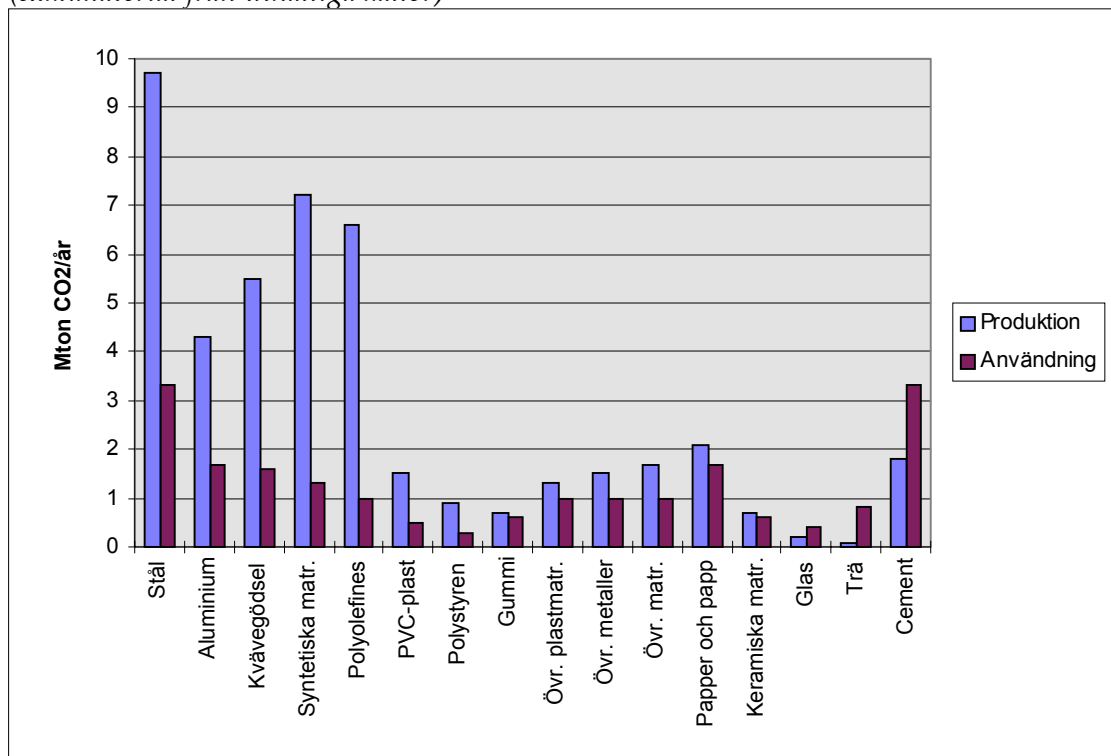
Gielen och Okken gör beräkningar av en 60-procentig reduktion av CO<sub>2</sub>-utsläppen. De jämför resultaten mellan MARKAL-simuleringar där enbart energisystemet finns med och simuleringar där även materialsystemet är inkluderat. Materialsystemet omfattar hela kedjan från produktionen av råmaterialet, tillverkningen av olika varor, användningen av varorna och slutligen omhändertagandet av varorna som avfall. Ur CO<sub>2</sub>-synpunkt är det framförallt produktionsfasen som är viktig för material, medan det är användningsfasen som är viktigast för bränslen. Material lagras också i produkterna, och frigörs i allmänhet efter användningen av produkten.

Figur 1. Koldioxidutsläpp per varugrupp i Holland 1988.



I figur 1 visas CO<sub>2</sub>-utsläppen från de varugrupper som beaktas i studien: byggnader, infrastruktur, personbilar, produktionsmedel (maskiner och lastbilar), hushålls- och kontorsapparater, inredningsartiklar, förbrukningsartiklar (inkluderar förpackningar, lastpallar, kläder, pappersprodukter m.m.) och kemiska produkter (färg, konstgödsel, klor m.m.). I figur 2 visas istället CO<sub>2</sub>-utsläppen från produktion och konsumtion av olika material.

Figur 2. CO<sub>2</sub>-utsläpp vid produktion och användning av material i Holland 1988 (exkl. material från uthålliga källor)



Totalt beräknas i studien CO<sub>2</sub>-utsläppen i energi- och materialsystemet i Holland vara drygt 150 Mton år 2000, som är utgångsår i beräkningarna. Av dessa är en dryg tredjedel materialrelaterade. I basscenariet ökar utsläppen till c:a 230 Mton till år 2040. Ökningen antas ske i energisystemet, medan utsläppen i materialsystemet antas vara konstanta.

Kostnadsberäkningar för olika åtgärder är svåra att göra, särskilt när det gäller teknik som ännu inte tillämpats, och osäkerheterna här är ganska stora. Med säkerhet kan man ändå säga att en del åtgärder i materialsystemet är billigare än vissa åtgärder på marginalen i energisystemet. Att reducera CO<sub>2</sub>-utsläppen med 60 procent till år 2010 visar sig vara extremt dyrt. I det sammantagna energi- och materialsystemet blir kostnaden markant lägre än i enbart energisystemet om reduktionen skall uppnås redan 2010. Om endast åtgärder i energisystemet beaktas så blir kostnaden per ton reducerat CO<sub>2</sub> drygt 500 holländska gulden.<sup>4</sup> Om materialsystemet tas med stannar kostnaden på 100 gulden per ton. Om tidsgränsen för att uppnå en 60-procentig reduktion förskjuts till 2040 så stiger inte kostnaderna lika kraftigt, men reduktionsmöjligheterna i materialsystemet ger fortfarande en sänkning av kostnaderna med c:a 50-100 gulden per ton. År 2040 sjunker kostnaden med 0,7 procent av BNP om åtgärder i materialsystemet inkluderas (motsvarande c:a 8 miljarder gulden).

<sup>4</sup> 500 gulden motsvarar ca 2000 SEK (1999).

Råvaruproduktionen, inklusive återvinning av material, och varuproduktionen är de led där den största reduktionen i materialsystemet kan göras. I studien över Holland har byggnadssektorn, infrastruktur och vissa förbrukningsartiklar (papper, förpackningar, pallar, kläder mm) störst betydelse, vid sidan av vissa kemiska produkter, t.ex. konstgödsel, smörjmedel, färg. Totala CO<sub>2</sub>-utsläpp från det holländska materialsystemet beräknas vara 50 Mton år 2000. Den kostnadseffektiva CO<sub>2</sub>-reduceringen i materialsystemet uppgår i studien till 16 Mton, som fördelar sig sålunda:

Materialrelaterade energianv.förändringar (fr.a. i materialproduktionen)	9.8
Byte till förnybara naturliga organiska resurser	2.7
Ökad träkonsumtion, inkl. reducerad cementkonsumtion	1.3
<u>Ändrad avfallshantering (plast, smörjmedel, gummi)</u>	<u>2.6</u>
S:a	16.4

Den tyngsta posten, materialrelaterade energiförändringar, fördelar sig mellan materialproduktion, varuproduktion och återanvändning. En stor del består emellertid av byte av energikällor vid produktion av bl.a. stål och aluminium, vilket således sker i energisektorn, och därmed inte beskrivs i denna rapport. Här ingår emellertid också förändrade processer och ökad sekundärproduktion (återvinning), vilket beskrivs nedan. Här är skillnaden i utgångsläget gentemot Sverige dock ganska stor, eftersom mycket större del av energin kommer från fossila bränslen i Holland än i Sverige.

För att kunna bygga upp modellen över materialsystemet har ett omfattande datamaterial samlats in. Uppgifterna gäller olika produktionstekniker vid råvaruproduktion och varuproduktion, energiåtgång i konsumtionsledet och olika möjligheter till återvinning. Både befintliga och ännu icke färdigutvecklade teknologier finns med. Eftersom simuleringarna sträcker sig fram till år 2040 kan nya tekniker antas hinna utvecklas under perioden. Startåret för simuleringarna är år 2000, och redan där antas en viss förändring av produktionstekniken jämfört med dagens produktion ha inträffat.

För både primärproduktion och sekundärproduktion (återvinning) av material ingår data om:

- input: energi och råmaterial
- output: material, utsläpp, ev. energi. Dessa redovisas för ett antal olika processtyper för olika material.
- finansiella data för produktionen av materialen med de olika processerna: investeringar, fixa kostnader (ex. underhåll), variabla kostnader (ex. arbete)
- konsumtionen av materialet.

För flera av materialen finns också parametrar för användningen: underhåll av vägar, rengöring av returglas, hur mycket transporter som krävs samt

insatser och utsläpp vid transporterna. Dissipativa materialförluster<sup>5</sup> vid olika typer av användning uppskattas också för 16 olika material.

I denna genomgång koncentrerar vi oss på områden där de största CO<sub>2</sub>-reduceringarna i materialsystemet har kunnat uppnås. Det gäller råvaruproduktion av stål, aluminium och cement, samt materialanvändning vid produktion av person- och lastbilar och byggnader.

## 2.1 Förändringar i råvaruproduktionen

### Stål

Järn- och stålindustrin är en tung industri med historiskt sett stora utsläpp av stoft och förorenande ämnen. Mycket har gjorts under de senaste decennierna för att minska miljöpåverkan. Återvinning är lönsamt och utnyttjas i hög grad, liksom för aluminium. Trots detta är energiåtgången fortfarande stor och utsläppen stora relativt branschens storlek. Stål kan produceras från järnmalm (primärproduktion) eller återvunnen metall (sekundärproduktion). Energiåtgången, framförallt kol- och koksåtgången, minskar kraftigt vid sekundärproduktion av stål. Däremot kan inte alla kvalitéer produceras i sekundärproduktion.

I MARKAL-simuleringarna ökar konsumtionen av stål i byggsektorn eftersom flervåningshus i högre grad börjar byggas med stålskelett och tunna betongelement istället för armerad betong; däremot minskar stålanvändningen i bilindustrin, där aluminium får ersätta stålet. Nettoeffekten är en stabilisering av stålkonsumtionen. Utsläppen från stålproduktionen beräknas dock minska på grund av något ändrad processteknik och ökad återvinning. Återvinningen beräknas öka även i scenariot utan CO<sub>2</sub>-reduktion. En CO<sub>2</sub>-reduktion resulterar i en annorlunda teknologimix, som förändrar materialflödet. Framförallt ökar möjligheterna att göra medelkvalitéstål av återvunnen metall, istället för lågkvalitéstål. Primärståltillverkarna tappar produktionsandelar; större andel produceras också med annan teknik med lägre CO<sub>2</sub>-utsläpp. Bl.a. används mer kol istället för koks, vilket är miljömässigt bättre.

### Aluminium

Aluminium ger dels koldioxidutsläpp på grund av den höga energiförbrukningen vid nyproduktion, dels processutsläpp då anoderna, som består av kolstavar, förbränns under elektrolysen. Aluminium är mycket energi-krävande att framställa. Till sekundärt producerad aluminium, dvs. omsmältning av aluminium, åtgår emellertid bara 5 % av energiförbrukningen för primärproducerat aluminium. Aluminiumets låga vikt gör också att energiförbrukningen under användandefasen blir lägre. En ökad användning av aluminium kan således vara energieffektivt. I MARKAL-simuleringarna

---

<sup>5</sup> Diffusa utsläpp på grund av nötning, korrosion, oxidering etc.

ökar återvinningen av aluminium kraftigt, och användningen ökar i många användningsområden. Dessutom antas en ny metod med inerta anoder (dvs anoder som inte förbränns under elektrolysen) ha utvecklats till 2010, vilket gör att processutsläppen av CO<sub>2</sub> blir lägre.

Aluminium används framförallt (i fallande ordning) i maskiner, byggnader och infrastruktur, bilar och förpackningar (burkar). Produktionen av aluminium ökar kraftigt (från 400 kton till c:a 700 kton) i MARKAL-simuleringarna, framförallt på grund av ökad användning i bilindustrin. Bilarosser både till lastbilar och personbilar börjar i CO<sub>2</sub>-scenariet i stor utsträckning göras av aluminium, vilket minskar bränsleförbrukningen eftersom fordonen blir lättare.

### **Cement**

Under produktionen av cement avges koldioxid. Detta kan minskas genom att binda koldioxid ur rökgaserna under processen och lagra den i uttömnda gasfält. Kapaciteten för detta är dock begränsad. Byte av bränsle i brännugnarna kan också minska utsläppen. I MARKAL-simuleringarna ökar slagginblandningen i cementproduktionen. Givet att slagget betraktas som avfall och således inte tillskrivs några CO<sub>2</sub>-utsläpp, minskas CO<sub>2</sub>-utsläppen om slagginblandningen ökar.

I simuleringarna minskar cementkonsumtionen på grund av att cement är så tungt att det blir relativt energikrävande i användningsfasen. En större andel av cementen produceras med CO<sub>2</sub>-reduktion. Annars sker inget egentligt processbyte. I CO<sub>2</sub>-reduktionsscenarioet byter man också bränsle i produktionen från kol som bränsle till återvunnet gummi.

### **Simuleringsresultat för övriga material**

*Plast:* Totala konsumtionen påverkas inte, men produktionsteknologin förändras märkbart.

*Trä:* Totala konsumtionen ökar, fast inte så mycket. Sammansättningen av träslag förändras något.

*Naturliga organiska substitut:* Syntetiska ämnen ersätts med naturliga, t.ex. kautschuk, palmolja och linfröolja, vilket resulterar i en CO<sub>2</sub>-reduktion på 2,7 Mton. (Idag går utvecklingen åt motsatta hållet, dvs. naturliga ämnen ersätts mer och mer med oljebaserade syntetiska produkter.)

*Avfall:* De avfallsproblem som studeras är förbränning av syntetiska material (som ger CO<sub>2</sub>-utsläpp) och deponering. Förbränningen av avfall minskar i det scenario där det sätts restriktioner på CO<sub>2</sub>-utsläppen, och istället ökar deponeringen. Med en höjd avgift på deponering kan detta motverkas (detta simuleras också). Dessutom studeras plastavfall, där sju olika typer av hantering modelleras.

## 2.2 Materialsubstitution i produkter

### Byggnader

Byggnader delas i studien upp i enfamiljshus och lägenheter/kontorsbyggnader. I Holland är 70% av bostäderna enfamiljshus, och tegel och betong är de dominerande byggmaterialen. Energikonsumtionen sker fr.a. i användningsfasen, för uppvärmning. Vid studie av alternativa byggmaterial är därför följderna för uppvärmningen viktig. En annan viktig parameter är livslängd på byggnaden. Denna bestäms dock framförallt av sociala faktorer, och är dessutom så pass lång att den går utanför tidshorizonten för studien.

En sammanställning av kvantiteter av olika material har gjorts för en referensbyggnad och en alternativ byggnad för de två byggnadstyperna. Referensenfamiljshuset är byggt med stål och cement; alternativet är trä. Referenslägenheten är i betong; alternativet bygger på stålskelett, mindre betong och högre andel plast (golven består av plast och stål). Samma sak gäller för kontor. Analysen bygger på det förhållandet att fyravåningshus är den dominerande typen. Den studerade byggnaden är relativt extrem, enligt författarna, och passar bäst till kontorsbyggnader (bl.a. på grund av lyhördhet). Tack vare övergången till lättare material minskar energiförbrukningen i byggsektorn, med minskade CO<sub>2</sub>-utsläpp som följd. CO<sub>2</sub>-utsläppen för att producera materialet till en enfamiljsvilla i trä uppskattas till 9 ton, medan det för referenshuset uppskattas till 21 ton.<sup>6</sup> Utöver detta tillkommer den lägre energiförbrukningen under själva byggandet samt vid transporter av materialet.

### Bilar

I studien beräknas materialåtgång för tre typer av bilar: med stålkaross, aluminiumkaross och plastkaross. Viktreduktionen blir mindre för plastkarosser än för aluminiumkarosser. Energikonsumtionen vid själva monteringen av bilen antas vara lika för alla alternativen, men skillnaden i fordonens vikt gör att bränsleförbrukningen blir lägre vid användandet. Genomsnittsskillnaden i bränsleförbrukning mellan en medelstor personbil med stålkaross och en med aluminiumkaross beräknas vara c:a 8 %. För lastbilar beräknas skillnaden vara i snitt 6 %. Detta medför att bränsleförbrukningen och koldioxidemissionerna från trafiken minskar.

### Lastpallar

I studien jämförs alternativen trä och plast för lastpallar. Återvunnen plast resp. trä studeras inte utan bara nyråvara. En Europapall (1000x1200 mm) i trä beräknas väga 25 kg; en nykonstruktion i plast 15 kg. Vidare uppskattas livslängden vara längre för plastpallar: 50 transporter för träpallar, 100 för plastpallar. Elåtgången beräknas också vara lägre vid produktion av plastpallar.

---

<sup>6</sup>Gielen & Okken [1994 a], tab. 6.3.



# 3. Jämförelse av resultaten för Holland med svenska förhållanden

---

Vi ska här göra en översikt över förutsättningarna i Sverige för några av de områden där den största CO<sub>2</sub>-reduktionen i materialsystemet uppnåddes i den holländska studien. Det gäller produktion av stål, aluminium och cement, där nya produktionsprocesser och ökad sekundärproduktion ger stora effekter. De produkter där materialsubstitution visade sig lönsamt var i byggnader, bilar och förpackningar.

## 3.1 Stål

Primärt stål produceras idag i masugnar följt av råstålsproduktion i syrgaskonvertrar. Sverige producerade 4900 kton råstål 1996, varav c:a 65 % i syrgaskonvertrar. Den skrotbaserade produktionen svarar för c:a 32 % av produktionen och sker huvudsakligen i ljusbågsugnar.<sup>7</sup> Det finns elva skrotbaserade stålverk och två malmbaserade verk i Sverige. Jernkontoret anger att 15-20 % av järnråvaran i primärproducerat stål är skrot, vilket är något mer än i Holland (13 %). C:a 45 % av den metallbärande råvaruinsatsen inom den svenska stålindustrin totalt sett är skrot (insamlat skrot + eget fallande skrot).<sup>8</sup> I den holländska studien anges denna siffra till 37 %.

I MARKAL-simuleringarna ökar återvinningen kraftigt, dvs produktionen i ljusbågsugnar ökar, men primärstålsproduktionen minskar. Energiåtgången minskar med c:a 75 % vid sekundärproduktion av stål, och framförallt används inte kol och koks, som ger stora CO<sub>2</sub>-utsläpp. Däremot kan inte utan vidare alla kvaliteter produceras från återvunnet stål.

Stålindustrin i Sverige skiljer sig från de flesta andra länder i Europa genom att den inte har tillgång till naturgas utan använder olja och gasol. Den stora andelen elektrostålverk och verk med enbart bearbetning bidrar också till att den svenska stålindustrin inte utnyttjar kol som energikälla på samma sätt som i många andra länder. I Sverige används kol enbart som råvara i masugnar och ljusbågsugnar, för reduktion av järnmalm till råjärn, och för förbättrade driftförhållanden, så att energiförbrukningen totalt sett minskar. Användningen av olja har minskat betydligt under 80- och 90-talen, medan

---

<sup>7</sup> Jernkontorets hemsida: [www.jernkontoret.se/stalstat/rastal.htm](http://www.jernkontoret.se/stalstat/rastal.htm), feb.1998

<sup>8</sup> Jernkontorets hemsida: [www.jernkontoret.se/stalstat/kretslop.htm](http://www.jernkontoret.se/stalstat/kretslop.htm), feb.1998

gasanvändningen har ökat något. Totalt är användningen av energi i stålindustrin c:a 4,8 MWh per ton handelsfärdigt stål.<sup>9</sup>

Energiförbrukningen i ljusbågsugnar beräknas vara c:a 500 kWh per ton produkt, mot 2000 kWh för primärproducerat stål i masugn. Järnsvamp producerad med naturgas förbrukar c:a 2000 kWh per ton. Naturvårdsverket nämner i en rapport om metaller även andra ännu energisnålare processer där ljusbågsugnar utnyttjas, t.ex. CONSTEEL-processen där energiförbrukningen är så låg som 300 kWh/ton.<sup>10</sup>

I den holländska studien beräknas elåtgången för ljusbågsugnar till 5.4 GJ per ton stål, dvs. 1500 kWh per ton, och naturgasåtgången till 1550 kWh per ton. I MARKAL-simuleringarna är stålkonsumtionen i stort sett konstant, men återvinningen ökar till c:a 75 % fram till 2010. Detta minskar kol- och koksanvändningen. Om detta appliceras på Sverige innebär det att den skrotbaserade produktionen skulle öka med c:a 35 procentenheter. Kol- och koksanvändningen minskar i motsvarande grad, eftersom inget kol eller koks används i ljusbågsugnar. I masugnar åtgår det 100 kg kol och 400 kg koks per ton stål.<sup>11</sup> Kolanvändningen skulle således minska med c:a 160 kton och koksanvändningen med c:a 640 kton, vilket motsvarar CO<sub>2</sub>-utsläpp på 395 kton respektive 1755 kton (de totala svenska CO<sub>2</sub>-utsläppen var 61150 kton år 1995).<sup>12</sup> Dessutom minskar den totala energiåtgången, vilket också ger minskade utsläpp, beroende på energikälla. I Sverige blir dock utsläppsminskningarna förmodligen inte så stora på grund av detta, eftersom en stor del är elektricitet som produceras med vattenkraft och kärnkraft. En ökning av den skrotbaserade stålproduktionen med 35 procentenheter skulle minska energianvändningen med c:a 3000 GWh (inklusive kol och koks).

Användningen av järn och stål var 2970 kton i Sverige 1994. Den helt dominerande produkten är tunnplåt (till byggindustrin och till fordons- och maskintillverkning). En annan stor volymprodukt är grovplåt, medan armeringsjärn för byggnader och andra betongbyggnationer är en något mindre post.

## 3.2 Aluminium

Aluminium produceras framförallt som plåt eller göt. Aluminiumplåt innehåller stora mängder kisel och metaller. Primärproduktionen sker i fyra steg: gruvdrift av bauxit, Bayerprocess för att få fram ren Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, vidare elektrolys (Hall-Héroult-process) för att få ren aluminium, och sedan vidarebearbetning för att få en intermediär produkt. Omvandlingen till ren aluminium är den som kräver mest energi. Denna modelleras i den holländska studien dels med

---

<sup>9</sup> Jernkontoret [1996].

<sup>10</sup> Naturvårdsverket [1996 a].

<sup>11</sup> Ibid.

<sup>12</sup> Omräkningstabell från kcal till CO<sub>2</sub>-utsläpp för kol och koks: Naturvårdsverket [1996 a].

en konventionell metod, dels med en ännu icke utvecklad produktionsprocess med s.k. inerta anoder. Anoderna i elektrolysen är av kol. Om dessa inte förbrukas under processen, bildas ingen CO<sub>2</sub>. Vid aluminiumframställning används mest el men även fossila bränslen.

Tillverkningsprocessen för aluminium är likadan i Sverige som på kontinenten, och siffrorna för produktionsprocessen i den holländska studien kan således användas även för Sverige. Primärproduktionen av aluminium var 84 kton i Sverige 1993, och sekundärproduktionen c:a 20 kton. I simuleringarna antas återvinningen öka, vilket minskar energiförbrukningen betydligt. Energiförbrukningen vid produktion av sekundäraluminium är endast 5 % av förbrukningen för primäraluminium. 1991 beräknades drygt 25 % av den aluminium som tillfördes årligen i västvärlden vara sekundäraluminium, dvs. omsmält metall. Förhållandet nyproducerad/återvunnen aluminium är i den holländska studien c:a 30/70 år 2010. Om ytterligare 50 kton skulle produceras av återvunnen metall istället för av nyråvara i Sverige så skulle elbesparingen bli 2415 TJ, dvs. 670 GWh.<sup>13</sup>

IPCC<sup>14</sup> räknar med processutsläpp från produktion av primäraluminium med 1,5 ton CO<sub>2</sub> per ton aluminium.<sup>15</sup> Ökad återvinning med 31,2 kton skulle således ge en minskning av processutsläppen med c:a 47 kton CO<sub>2</sub> (av totalt 164 kton).

Det kan tilläggas att primär aluminiumframställning har speciellt stor inverkan på växthuseffekten eftersom kryolit som används vid elektrolys innehåller fluor som bildar föreningar med mycket hög GWP (Global Warming Potential). Dessa föreningar orsakar lika stor växthuspåverkan som CO<sub>2</sub>-utsläppen vid primär aluminiumproduktion.<sup>16</sup>

I genomsnitt återvanns 65 % av det svenska aluminiumet i början på 90-talet, en siffra som troligen är ännu högre idag. Återvinningsgraden för olika produkter varierar starkt, från 0 till 100 %. Bilindustrin är en av de största användarna av aluminium, även om inte själva karossen görs i aluminium. Praktiskt taget alla skrotbilar går idag, efter viss manuell demontering, till fragmenteringsanläggningar. Nästan allt aluminium i bilarna återvinns där med hjälp av magnetseparering samt sjunk- och flytanrikning. Även aluminium i flygplan, båtar, bussar, tåg och vägskyltar återvinns i mycket hög grad. Produkter från mekanisk industri beräknas ha en genomsnittlig återvinningsgrad på 50 %. Elektro- och teleteknikprodukter har c:a 80 procents återvinningsgrad, på grund av att c:a 2/3 av tonnaget består av högspänningsledningar som återvinns till 100 %. Dryckesburkar av aluminium återvinns

---

<sup>13</sup>Beräknat utifrån förutsättningen att elåtgången är 48.3 GJ lägre per ton aluminium vid sekundärproduktion än vid primärproduktion.

<sup>14</sup>The International Panel on Climate Change.

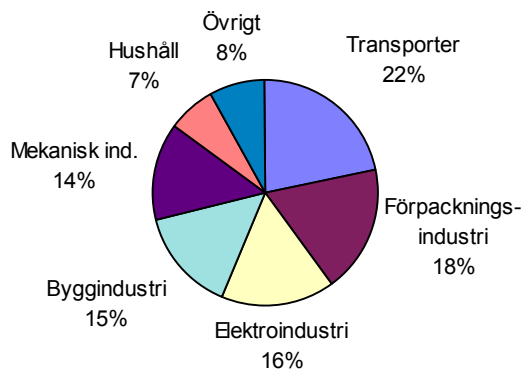
<sup>15</sup>Gäller "prebaked anode process".

<sup>16</sup>Naturvårdsverket [1996 a].

också till 80 %, medan övriga förpackningar har en mycket låg återvinningsgrad.<sup>17</sup>

Aluminium har ett stort antal användningsområden. Den ungefärliga användningen uppdelat på olika sektorer visas i figur 3.

Fig. 3. Aluminiumanvändningen i Sverige



Källa: Naturvårdsverket [1994]

### 3.3 Cement

Cement görs av nermald klinker (klinker = bränd kalksten) blandat med gips och några andra ämnen. Inblandningen av andra material, såsom aska och slagg från masugnsproduktion, är i de svenska cementfabrikerna ca 10 procent. I de två processer som ingår i den holländska studien används en ganska hög inblandning av aska från kolförbränning och slagg från stålproduktion. Om dessa material räknas som avfall är deras koldioxidutsläpp noll, och cementens koldioxidutsläpp per ton blir i motsvarande grad lägre. I den holländska studien räknas med en inblandning av aska på i snitt 17 procent, och en inblandning av slagg på 70 procent. I den förstnämnda, Portland/flyash-cementen, är CO<sub>2</sub>-utsläppen 0,46 ton per ton cement, och i den slagginblandade (blast furnace cement) 0,15 ton CO<sub>2</sub> per ton cement. Dessutom finns ett alternativ med CO<sub>2</sub>-bindning, där den bundna koldioxiden lagras i uttömda gasfält.

Cementproduktion kan indelas i två våta och två torra metoder. De torra metoderna är mindre energikrävande och har därför lägre koldioxidutsläpp. De tre cementfabrikerna i Sverige använder sig samtliga av en torr metod. 1996 gav cementproduktionen i Sverige upphov till 1 845 kton koldioxidutsläpp, till en produktion av 2 254 kton klinker, eller 2 451 kton cement. Detta ger 0,75 ton CO<sub>2</sub> per ton cement.

<sup>17</sup> Aluminiumteknik, Gränges [1991].

Kostnaderna för de olika metoderna uppskattas vara lika stora i den holländska studien. Det krävs heller inga investeringar för att gå över till högre inblandning av aska eller slagg. Om vi räknar på en reduktion till 0,46 ton CO<sub>2</sub> per ton cement, som anges för cement producerad med askinblandning i den holländska studien, skulle CO<sub>2</sub>-utsläppen minska från 1 845 kton till 1128 kton, dvs med 717 kton. Inblandning av aska och slagg påverkar emellertid cementens egenskaper och kan inte användas i hur stor utsträckning som helst. Tillgången på slagg från stålproduktion är också begränsad - särskilt om primärproduktionen av stål minskar till förmån för sekundärproduktion - och därför räknar man i den holländska studien med att det bara går att producera en liten del av cementen med hög slagginblandning.

En slagginblandning på 70 % ger CO<sub>2</sub>-utsläpp på 0,15 ton per ton cement. I Sverige producerar stålverken idag c:a 1,1 Mton slagg per år, varav 467 kton är masugnsslagg<sup>18</sup>, vilket skulle räcka för inblandning med 200 kton av de 2,2 Mton klinker som produceras årligen. Grovt räknat går det således att ha en 70-procentig slagginblandning i 10 % av cementproduktionen. Detta skulle reducera CO<sub>2</sub>-utsläppen med knappt 40 kton.

I Sverige används drygt 90 % av den tillverkade cementen för betongframställning.<sup>19</sup> Resterande 10 procent går till murbruk, injektering i tunnelbyggen, djupstabilisering m.m. Cement kan också användas vid solidifiering av avfall, dvs deponering med cementbindemedel. Betong används till byggnadsverk som broar, industrilokaler och bostadshus. Inom husbyggnad används betong till grundläggning, golv, väggar, takpannor, bjälklag m.m. I befintliga flerbostadshus dominerar betong och tegel viktligt över de flesta byggmaterial.<sup>20</sup>

### 3.4 Reducering av bränsleförbrukningen för lastbilar och personbilar

Relationen mellan en personbils vikt och bränsleförbrukningen antas i den holländska studien vara 0,5, dvs. 10 procent lättare bil förbrukar 5 procent mindre bränsle. Aluminiumbilen beräknas i genomsnitt väga 904 kg mot stålbilens 1053, vilket medför att aluminiumbilens bränsleförbrukning är 92 procent av stålbilens. I Sverige väger personbilarna i genomsnitt 1238 kg.<sup>21</sup> Bränslereduceringen blir således något större, eftersom viktreduceringen kan förmodas bli större.

---

<sup>18</sup> Jernkontoret [1996] samt SCB [1995]

<sup>19</sup> Vid betongframställning återbinds CO<sub>2</sub> i materialet. Hur mycket diskuteras för närvarande; det kan röra sig om så stora mängder att det motsvarar de utsläpp som sker vid cementframställningen. I så fall kan utsläppen för den cement som används till att göra betong bortses från.

<sup>20</sup> Naturvårdsverket [1994]

<sup>21</sup> SCB:s statistikdatabas.

Givet en genomsnittsförbrukning på 0,83 l/mil för den svenska bilmärkesmixen av årsmodell 1995<sup>22</sup> blir bränsleförbrukningen för en aluminiumbil 0,76 l/mil, om man räknar med en 8-procentig reducering även här. Antalet nyregistreringar av personbilar var 260 000 år 1997.<sup>23</sup> Den genomsnittliga körsträckan per år är c:a 14 000 km.<sup>24</sup> En minskning i bränsleförbrukningen med 0,07 liter per mil för alla nyregistrerade bilar minskar CO<sub>2</sub>-utsläppen under ett år med 563 kton.<sup>25</sup> Om bensinförbrukningen kunde reduceras för alla bilar med 0,07 liter skulle CO<sub>2</sub>-utsläppen minska med 10 000 kton, vilket motsvarar en sjättedel av Sveriges CO<sub>2</sub>-utsläpp.

För lastbilar är inte relationen mellan själva bilens vikt och bränsleförbrukningen lika stark, eftersom den tomma personbilens vikt är 90 % av totalvikten, medan lastbilens tomma vikt i genomsnitt endast är 50 % av totalvikten. I den holländska studien räknar man med en bränslekonsumtionsreduktion på 4 % per ton reduktion av den tomma vikten. Genomsnittsvikten på en lastbil i Holland är 7200 kg. En lastbil byggd i aluminium beräknas väga 6280 kg. Större delen av lastbilsbeståndet i Sverige är lätta lastbilar, som väger ca 3 ton eller mindre. Av de tunga lastbilarna i Sverige, från 3,5 ton och uppåt, väger 30 % mindre än 7 ton och 30 % mer än 24 ton.<sup>26</sup> Ett vägt genomsnitt av antalet lastbilar i varje viktklass ger en genomsnittsvikt på 15 ton för tunga lastbilar. För alla lastbilar, lätta och tunga sammantaget, är genomsnittsvikten 6,4 ton.

Tabell 1. Genomsnittlig bränsleförbrukning samt antal lastbilar. Dm<sup>3</sup> bensin alt. diesel per fordonskm, samt antal fordon.

	< 3,5 ton		7 ton	14 ton	> 18 ton
	Bensin (88%)	Diesel (12%)			
Bränsleförbrukning	0.155	0.097	0.172	0.281	0.392
4% minskning	0.149	0.093	0.165	0.269	0.376
Antal lastbilar 1997	220 000		12 000	20 000	32 000
+ nyregistrerade 1997	21 000		707	902	3157

Källa: Hammarström [1990] och SCB.

Uppgifterna i tabell 1 gäller årsmodeller 1984 - 1990.

Med aluminiumkaross skulle bränsleförbrukningen kunna minska med 4 %, vilket ger den lägre bränsleförbrukning som anges i rad två i tabell 1.

Under lågkonjunkturen i början av 90-talet minskade antalet nyregistreringar av både lastbilar och personbilar, för att sedan öka (se fig. 4). 1997 nyregistrerades 25 766 lastbilar, lätta och tunga sammantaget. Genomsnittlig körsträcka per lastbil och år är 49 000 km. Den totala körsträckan för godstrafik med lastbilar var 2 064 miljoner kilometer år 1995. Räknat på den genomsnittliga körsträckan på 49 000 km per år, så skulle bränsleförbrukningen per år

<sup>22</sup> AB Bilstatistik.

<sup>23</sup> SCB:s statistikdatabas.

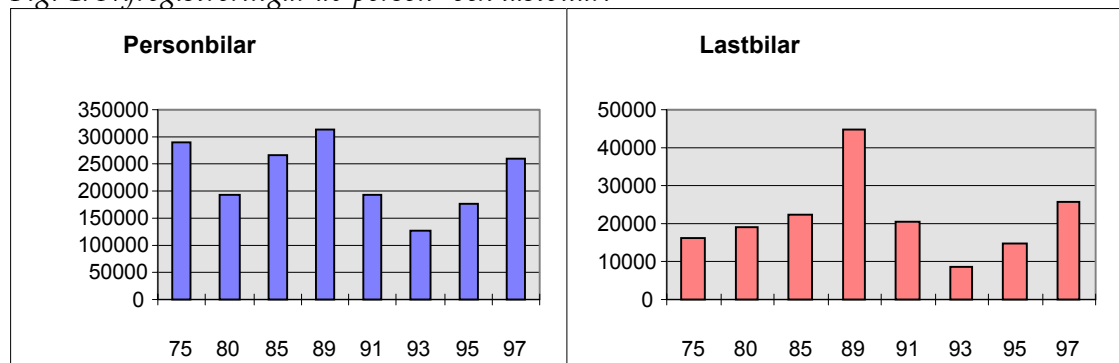
<sup>24</sup> Resvaneundersökningen.

<sup>25</sup> Beräknat utifrån SCB:s utsläppskoefficienter för motorbensin.

<sup>26</sup> SCB:s statistikdatabas.

minska med 7300 liter och CO<sub>2</sub>-utsläppen med knappt 100 kton ifall alla nyregistrerade lastbilar minskade bränsleförbrukningen med 4 procent.<sup>27</sup> Av reduktionen står tunga lastbilar för c:a 86 procent, varav den tyngsta klassen (> 18 ton) står för 65 procentenheter. Om hela lastbilsparken minskade bränsleförbrukningen med 4 procent så skulle CO<sub>2</sub>-utsläppen minska med 1217 kton.

Fig. 4. Nyregistreringar av person- och lastbilar.



Källa: SCB.

### Andra beräkningar av bränslesnålare bilar

Forskningscentrat vid Gränges, Aluminiumteknik, räknade 1990 på energi- besparing vid ökad andel aluminium i en personbil, som sänker vikten med 100 kg. Detta antogs sänka bensinförbrukningen med 25 liter per tusen mil. Den extra energiinsats som åtgår för aluminiumproduktionen beräknades tjäna in drygt åtta gånger om under bilens livslängd, och CO<sub>2</sub>-utsläppen under bilens livslängd beräknades minska med c:a 1500 kg.<sup>28</sup> I en nyare beräkning räknar Gränges Aluminium med att en omfattande användning av aluminium ger en viktminskning på upp till 300 kg i en medelstor personbil. Detta innebär en bränslebesparing, och därmed avgasbesparing, på 20 %, motsvarande 3000 liter under bilens livstid.<sup>29</sup> I den holländska studien beräknas en minskning med 150 kg reducera bränsleförbrukningen med ungefär 60 liter per tusen mil, vilket i stort sett motsvarar Gränges senare beräkningar.

Rocky Mountain Institute (RMI) i USA har gjort beräkningar på s.k. "hypercars", där inte bara vikten utan också elektroniska och mekaniska lösningar har drastiskt förändrats. RMI har konstaterat att stora synergieffekter kan uppnås om olika effektiviseringsåtgärder införs samtidigt. I RMI:s studier minskas vikten med mer än 50 procent (till drygt 500 kg) genom användning av framförallt olika avancerade kompositmaterial som polymerer (plaster) och kolfiber. Denna kraftiga viktminskning gör att behoven av motorkraft, bromsverkan, storlek på bensintanken etc också reduceras väsentligt. En

<sup>27</sup> Räknat på ett CO<sub>2</sub>-värde på 2,36 kg per dm<sup>3</sup> för bensin och 2,61 för diesel.

<sup>28</sup> Aluminiumteknik, Gränges [1991].

<sup>29</sup> [www.graenges.se/swe/konc/text6.htm](http://www.graenges.se/swe/konc/text6.htm)

multiplikatoreffekt uppkommer därmed, där effektivisering av en komponent ger möjlighet att effektivisera flera andra.

Några av de tekniska lösningarna i dagens bilar som förändras i hyperbilen är kraftöverföringen från motor till hjul, som kan förbättras betydligt, och begränsning av de stora energiförluster som görs vid uppbromsning av bilen. Den stora kraft som krävs för accelereringen idag gör att bilmotorn måste överdimensioneras och större delen av tiden utnyttjas endast till en mindre del; detta problem reduceras betydligt bara genom att bilen blir så mycket lättare. En väsentlig effektivisering av dessa och flera andra aspekter beräknas av RMI kunna genomföras utan försämrad säkerhet eller prestanda hos bilen.

Produktionen av hyperbilar kräver ett stort tekniksprång. RMI:s forskare anser att det är möjligt att genomföra, och att det i så fall skulle minska bränsleförbrukningen till knappt 2 dl milen. Med ny bränsleförbrännings-teknik (bränsleceller) skulle en hyperbil med lätthet kunna möta Kaliforniens "Equivalent Zero-Emission-Vehicle"-standard, även utan att gå över till annat bränsle.<sup>30</sup>

### 3.5 Byggnader

I Sverige bygger vi, till skillnad från i Europa, många hus i trä. Småhus byggs i stort sett uteslutande i trä idag. Under 50- och 60-talen förekom material som lättbetong och tegel, men de försvann successivt under 70-talet för att under 80- och 90-talen vara ganska försumbara. Flervåningshus byggs i armerad betong eller i prefabricerade betongbjälklag, med bärande stålstomme. Det senare är en snabbare metod, och enklare att genomföra i trånga områden, t.ex. i storstäder. Snabbast är att bygga med helprefabricerade betong-element/kassetter. Priset för att bygga med betongbjälklag eller platsgjuten betong blir troligen ungefär lika, eftersom den snabbare byggtiden uppväger att betongbjälklag är dyrare.<sup>31</sup>

Man har även gjort försök med att bygga flervåningshus i trä. Bjälklaget består av trästommar, med isolering av mineralull och yttre lager av profilerad plåt och gipsplattor. Med denna bjälklagskonstruktion går det ungefär lika snabbt som att bygga med betongbjälklager. Det gör också att byggkostnaderna blir lägre. Byggnaderna väger bara en femtedel av ett betonghus i samma storlek. Det gör att de måste förankras med stålstag i grunden för att inte vinden ska kunna flytta på dem. Försöken har fallit väl ut, och man ska nu bygga flera bostadsområden på detta sätt.<sup>32</sup>

Den potential för lättare byggmaterial som redovisas i den holländska studien finns således i Sverige främst för flervåningshus. Byggandet har minskat

---

<sup>30</sup> Lovins [1998] samt Lovins et.al. [1996].

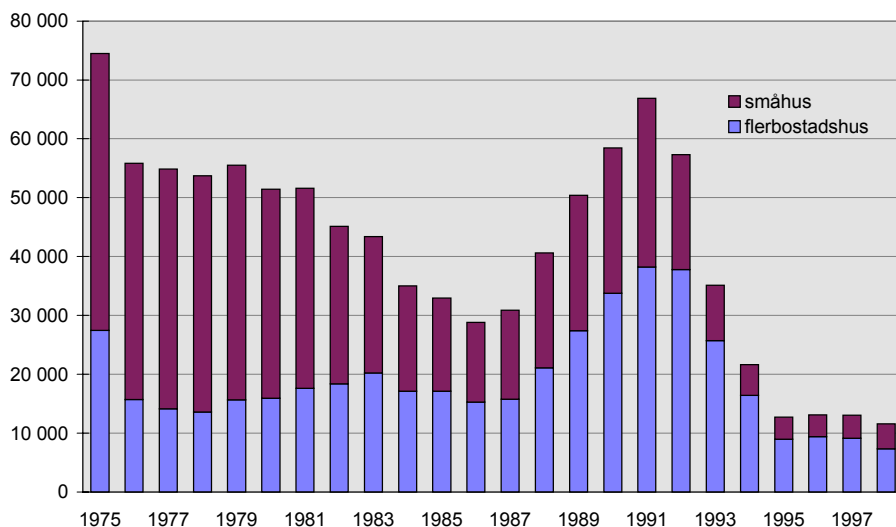
<sup>31</sup> Bladh [1991]. Samtal med Skanska och JM Bygg.

<sup>32</sup> "Trähusen växer sig allt högre", Teknisk Tidskrift, Civilingenjören nr 10 1997. Samtal med Skanska.



kraftigt under nittiotalet i Sverige. Den volym det handlar om är därför inte särskilt stor, även om det nu för tiden byggs fler flerbostadshus än småhus (fig. 5).

Fig. 5. Färdigbyggda bostäder (antal lägenheter) efter tid och hustyp. Hela riket.



Källa: SCB.

I Konjunkturinstitutets novemberprognos 1998 räknar man med att byggandet ökar under 1999 och 2000.<sup>33</sup> Återhämtningen kommer dock inte på den tidsrymden upp till nivån i början på 90-talet. Relaterat till den nationella utsläppsnivån är potentialen därför inte särskilt hög. Det kan dock noteras att den inte heller är kostsam; snarare fås sänkta byggkostnader.

### 3.6 Träproduktionen och användningen i Sverige

I jämförelse med Holland används trä i mycket stor utsträckning, även om potentialen för ökad användning är stor. Här ges en kortfattad översikt över dagens träanvändning.<sup>34</sup>

Den produktiva skogsmarken i Sverige upptar ungefär hälften av landets yta. Virkesförrådet är 2800 miljoner skogskubikmeter och tillväxten är 100 miljoner skogskubikmeter per år. Årligen avverkas ungefär 65 miljoner skogskubikmeter.<sup>35</sup> Av dessa blir 46 procent massaved, av vilken en stor del (c:a 40 procent) blir energi och värme, resten massa och papper. 46 procent blir sågtimmer (sågade trävaror samt träskivor) och 8 procent brännved. Slutprodukterna fördelar sig enligt figur 6. Energi och värme produceras både ur spill-

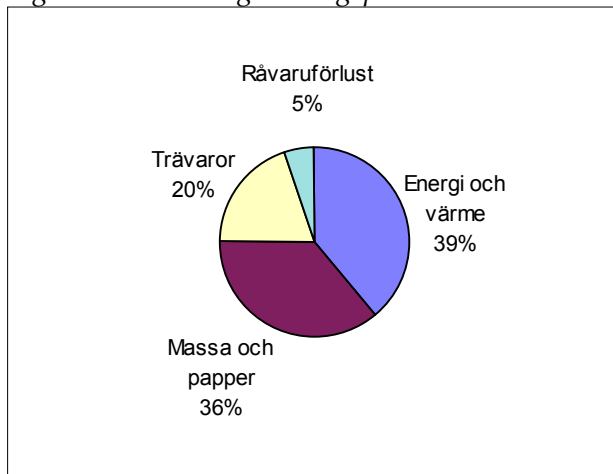
<sup>33</sup> Konjunkturinstitutet [1998].

<sup>34</sup> Alla uppgifter i avsnittet från Naturvårdsverket [1994].

<sup>35</sup> Skogskubikmeter = volymen av hel trädstam ovan stubbskäret inklusive bark.

produkter i massa- och pappersindustrin (23 procentenheter) samt brännved (16 procentenheter) .

Fig. 6. Användning av skogsprodukter



Sågade trävaror av barrträ används till 70 % i byggsektorn. Sågade trävaror av lövträ används till 30 procent i byggsektorn och till 23 % i möbler. Resterande 47 % används för gjutformar, förpackningar osv. Byggsektorn är alltså det dominerande avsetningsområdet för sågade trävaror.

Återvinning sker i stort sett uteslutande av pappersvaror. För lastpallar av trä finns dock retursystem. Kasserade träfiberskivor återvinns som byggavfall, varav huvuddelen förbränns. Materialåtervinning av träfiberskivor förekommer inte.

# 4. Sammanfattning och kommentarer

---

Gielen och Okken har i sin studie över åtgärder för att reducera koldioxidutsläppen i materialsystemet belyst den intima sammanlänkningen av energi- och materialsystemet och de reduktionsmöjligheter som kan upptäckas om de båda systemen betraktas samtidigt. I denna översikt har potentialen för att reducera de svenska CO<sub>2</sub>-utsläppen på några av de områden som behandlas i den holländska studien uppskattats. De områden som studerats är råvaruproduktion av stål, aluminium och cement, samt förändrad materialanvändning i bilar och byggnader.

## 4.1 Sammanställning av resultaten

Utsläppen av koldioxid var 61150 kton i Sverige 1995.<sup>36</sup> Den reduktion de här betraktade åtgärderna skulle ge uppgår till 3 600 kton, vilket motsvarar drygt 5 procent av utsläppen. I relation till totalen beräknad enligt IPCC:s definition (exklusive bunkring, c:a 56 000 kton) motsvarar reduktionen drygt 6 procent.

De åtgärder i stål- och aluminiumframställning, som ger den reduktion som redovisas i tabell 2, består framförallt av ökning av den skrotbaserade produktionen. I stålproduktionen innebär detta att användningen av kol och koks minskar kraftigt, samtidigt som energiåtgången minskar. För aluminium är energibesparingen av att använda återvunnen aluminium mycket stor (95 %), eftersom den dominerande energiförbrukningen sker vid elektrolysen när aluminiumoxid förädlas till rent aluminium. Ett visst utsläpp av CO<sub>2</sub> sker också vid elektrolysen eftersom kolanoderna förbränns under processen. Dessa processutsläpp minskar också vid ökad återvinning av aluminium.

Tabell 2. Sammanställning av uppskattad CO<sub>2</sub>-reduktion och energibesparing

	Kton CO <sub>2</sub>	GWh energi
Stålproduktion	2150	3000
Aluminiumproduktion	50	700
Cementproduktion	700	
Personbilar	560	
Lastbilar	100	
Byggnader	..	
Summa	3560	3700

Vid produktion av cement avges koldioxid då klinker bränns till cement tillsammans med gips och andra ämnen. Dessa CO<sub>2</sub>-utsläpp kan minskas

---

<sup>36</sup>SCB [1997].

genom att en del av klinkern ersätts med aska eller masugnsslagg (eftersom dessa är restprodukter tillskrivs inte produktionen av dem några CO<sub>2</sub>-utsläpp).

Det finns många studier över möjligheterna att minska bränsleförbrukningen hos bilar. Den utsläppsreduktion som redovisas i tabell 2 avser en minskning av fordonets vikt genom att ersätta stålet i karosserna med aluminium, vilket minskar fordonets vikt med 4-8 procent.

Koldioxidreduktionen i byggnadssektorn kan ske genom minskat energibehov på grund av att man går över till lättare byggmaterial, t.ex. ökad användning av stålstommar och formgjutna betongprofiler istället för platsgjuten betong i flervåningshus. I Sverige har även experimenterats med trästommar i flervåningshus. Någon beräkning för reduktionspotentialen har emellertid inte gjorts, dels på grund av svårigheten att hitta erforderliga data, dels på grund av att nivån på byggandet är så låg i Sverige att potentialen inte är särskilt stor av den anledningen.

#### **Naturvårdsverkets beräkningar av åtgärder i energi- och transportsektorn**

I Naturvårdsverkets rapport om åtgärder för att minska CO<sub>2</sub>-utsläppen beaktas transport- och energisektorn.<sup>37</sup> I transportsektorn betraktas bl.a. minskning av transportbehovet, förändrat trafikslag (t.ex. ökad kollektivtrafikandel), åtgärder på fordonen (bl.a. effektivare motorer) och förändrade drivmedel. Totalt beräknas potentialen för reduktion av CO<sub>2</sub>-utsläppen i transportsektorn vara c:a 3 Mton per år vid en kostnad på 10 öre kilot.

I energisektorn omfattar studien åtgärder i kondenskraftverk (t.ex. ersättning av kolkondens med fliseldade kraftverk) och åtgärder i fjärrvärmesektorn (t.ex. tillvaratagande av spillvärme, bränslebyte, effektiviseringsåtgärder i bostadshus och lokaler). För en kostnad upp till 25 öre beräknas CO<sub>2</sub>-utsläppen kunna reduceras med c:a 6 Mton per år. En stor del av denna reduktion sker dock i utlandet, eftersom det är fossilbaserad produktion utomlands (t.ex. dansk kolkondenskraft) som ersätts med renare inhemsk produktion. Inom Sveriges gränser är potentialen för en reduktion 2 Mton per år till en kostnad på mellan 0 och 10 öre kilot, och 4 Mton per år till en kostnad på drygt 10 öre kilot.

Totalt ger åtgärderna i transport- och energisektorerna en reduktion med c:a 7 Mton, vilket motsvarar 12 procent av de svenska CO<sub>2</sub>-utsläppen.

Tillsammans med de reduktioner som uppskattats i denna studie för metall-, cement- och byggnadsindustrin samt transportsektorn blir den totala potentialen för koldioxidreduktion 10,6 Mton eller 18 procent av utsläppen (med reservation för ev. dubbelräkning i transportsektorn).

---

<sup>37</sup> Naturvårdsverket [1996 b].

## 4.2 Relatering till branschutsläpp

I miljöräkenskaperna redovisas utsläppen från ekonomiska aktörer branschvis, vilket bl.a. innebär att utsläppen kan relateras till den "nytta", de varor och tjänster, som produceras. Det ger ett bättre jämförelsematerial till reduktions-siffrorna än de totala nationella utsläppen. Här görs en enkel jämförelse på relativt grov branschindelingsnivå.

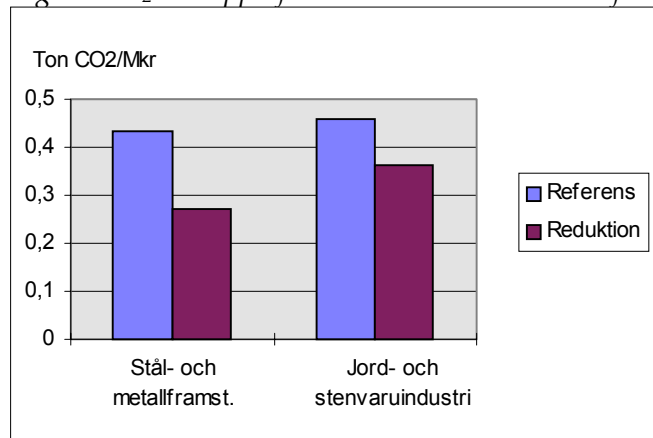
Stål- och aluminiumproduktion ingår i branschkod 27, *Stål- och metallverk*, och cementproduktionen ingår i branschkod 26, *Jord- och stenvaruindustri*.<sup>38</sup>

Tabell 3. Relatering till branschens energianvändning och utsläpp

Sektor	Reduktion av energi-användning, GWh	Procent av branschens energi-användning 1993	Reduktion av CO <sub>2</sub> -utsläpp, kton	Procent av branschens CO <sub>2</sub> -utsläpp 1993
Stål- och metallverk	3000	8 %	2200	38 %
Jord- och stenvaruindustri	-	-	700	15 %

I figur 7 visas förändringen i de genomsnittliga utsläppen per förädlingsvärde (bruttoproduktionsvärde minus värdet av insatsvarorna) om de föreslagna åtgärderna genomförs i metall- och cementindustrin. Jämförelsen gäller i det fall produktionskostnaderna är oförändrade.

Fig. 7. CO<sub>2</sub>-utsläpp i förhållande till branschens förädlingsvärde.



Fordon som ägs av transportfirmor ingår i branschen samfärdsel, medan de fordon som ägs av andra företag ingår i respektive bransch. Tjänsteföretagen äger många personbilar, men de flesta personbilarna återfinns givetvis i

<sup>38</sup> Den nya branschindelningen, SNI 92, kommer att redovisas med en större detaljeringsgrad i miljöräkenskaperna under 1999. Näringslivet kommer att indelas i 136 branscher, vilket bl.a. innebär att stål- och aluminiumproduktion samt olika delar av bearbetningen av olika metaller delas upp (kod 27.1-27.5), och att cementproduktionen ligger på en egen kod (26.51).

hushållssektorn. De branscher som har störst CO<sub>2</sub>-utsläpp från mobila källor förutom samfärdselbranschen är, i fallande ordning, parti- och detaljhandel, offentliga tjänster, byggindustri och jordbruk. Samfärdselsektorn släpper ut c:a 11 500 kton CO<sub>2</sub>; de nämnda branscherna ligger kring 1000 kton vardera. Totalt var utsläppen från mobila källor 28 590 kton år 1993, vilket är 46 procent av totala utsläppen.<sup>39</sup>

### **Andra utsläpp som påverkas av åtgärderna**

Åtgärder som minskar koldioxidutsläpp kan antingen vara sådana som minskar energiförbrukningen, eller byte till ett icke fossilbränslebaserat energislag. De åtgärder som studerats här går samtliga ut på att minska energiförbrukningen. De ger därför en reduktion av andra energirelaterade utsläpp, som kväveoxider, svaveldioxid, partiklar och tungmetaller. Sambanden mellan utsläpp och använd kvantitet av olika energislag beror för dessa utsläpp emellertid på vilken rening som används och varierar således mellan sektorerna. Primärstålsproduktionen, framförallt dess höga kol- och koksanvändning, ger upphov till stora utsläpp av svaveldioxid (SO<sub>2</sub>) och kväveoxid (NO<sub>x</sub>) samt vissa tungmetaller, som bly, zink, nickel, koppar och kadmium. Metallindustrin som helhet har stora utsläpp av SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> och tungmetaller, förutom de ovan nämnda tungmetallerna även krom, kvicksilver och arsenik. Koks och raffinerade bränslen, som bensin och diesel, ger upphov till stora utsläpp av SO<sub>2</sub> och NO<sub>x</sub> både vid framställning och användning. Jord- och stenvaruindustrin, där cementproduktionen ingår, har relativt stora utsläpp av SO<sub>2</sub> och NO<sub>x</sub>.

## **4.3 Fortsatta studier**

I denna rapport har gjorts en översiktlig undersökning av potentialen för reduktion av CO<sub>2</sub>-utsläppen kopplat till produktionen och användningen av några material. En fördjupad studie skulle kunna omfatta ett större antal material och en fullständigare kartläggning av möjliga åtgärder. Hur stor detaljeringsgrad i datainsamlingen som är önskvärd beror på ifall ambitionen är att göra simuleringar med MARKAL-modellen, vilket i så fall också kräver en utbyggnad av MARKAL-versionen för Sverige.

Grunden för att studera energieffektivisering och "miljöeffektivisering" (minskning av miljöpåverkan per producerad vara eller tjänst) i materialsystemet är en statistik som följer materialströmmarna i samhället. Denna materialflödesstatistik visar hur olika material används: i vilka produkter, hur dessa produkter används och av vilka branscher och hushåll.

Förutom själva materialflödesstatistiken behövs andra typer av uppgifter för att studera effekter av materialanvändningen på det sätt som Gielen och Okken gjort i sin studie. De uppgifter som också krävs är:

---

<sup>39</sup> SCB [1997].

1. Energiåtgången för produktion av råmaterial och för produktion och användning av den produkt som studeras, inklusive transporter, samt skillnader i energianvändning på grund av återvinning och förbränning av produkten.
2. CO<sub>2</sub>-utsläpp under produktion och användning av materialet.
3. Data över nya tekniker som kan införas och kostnaden för detta, samt skillnader i driftskostnader gentemot den gamla tekniken.

Avgörande är dokumentationen av vilken teknik som används och vilken energiförbrukning, miljöpåverkan och kostnad den för med sig, vilket ofta är bristfälligt dokumenterat, framförallt i samband med den energi- och miljöstatistik som görs på nationell nivå. Detta är ett område som är under utveckling. Arbete har initierats både på SCB och Naturvårdsverket. En vidareutveckling av kopplingen mellan statistik över energi-, material- och teknik-användning samt miljöpåverkan ger möjlighet till mer adekvata analyser över potentialen för energi- och miljöeffektivisering.

# Referenser

---

## Tryckta källor

- Aluminiumteknik, forskningscentrum för Grängesföretagen [1991], *Aluminium ur energi- och miljösynpunkt*, Gränges AB.
- Bladh, Mats, [1991], *Bostadsmaterialindustrin 1945-85*, Forskningsrapport SB:34, Statens institut för byggnadsforskning.
- Gielen, Dolph, & Okken, P.A, [1994 a], *Optimisation of integrated energy and materials systems. Linked energy and material flows: methodological considerations and model calculations for the Netherlands beyond 2000*, ECN-C-94-010, Netherlands Energy Research Foundation (ECN).
- Gielen, Dolph, & Okken, P.A, [1994 b], *Optimisation of integrated energy and materials systems: Compilation of materials processes*, ECN-C-94-011, Netherlands Energy Research Foundation (ECN).
- Gielen, Dolph, & Okken, P.A, [1994 c], *Optimisation of integrated energy and materials systems: Product chain characteristics*, ECN-C-94-012, Netherlands Energy Research Foundation (ECN).
- Hammarström, Ulf, [1990], *Trafik- och avgasutsläpp - utblick mot 2015. Emissions- och bränslefaktorer för vägtrafik*. notat T84, VTI.
- Hammarström, Ulf, [1992], *Bränsle- och emissionsfaktorer för kallstart och varmkörda motorer*, notat T 119, VTI.
- Jernkontoret [1996], Verksamhetsberättelse.
- Konjunkturinstitutet [1998], *Analysunderlaget november 1998*.
- Lovins, Amory B. [1998], *Hypercars: The Next Industrial Revolution*, Rocky Mountain Institute.
- Lovins, Amory B., Brylawski, Michael, Cramer, David, and Moore, Timothy [1996], *Hypercars: Materials, Manufacturing and Policy Implications*, Rocky Mountain Institute.
- Naturvårdsverket [1994], *Viktiga materialflöden -förutsättningar för aktionsplaner*, rapport 4384.
- Naturvårdsverket [1996 a], *Metaller - materialflöden i samhället*, rapport 4506.
- Naturvårdsverket [1996 b], *Minska utsläppen av koldioxid - kostnadseffektiva åtgärder*, rapport 4632.
- Naturvårdsverket [1997], *Cementindustrin under 1996*, Per Junker, enheten för basindustri. PM.
- SCB [1992], SNI 92. *Standard för svensk näringsgrensindelning 1992*.
- Meddelanden i samordningsfrågor 1992:4.
- SCB [1995], *Industrins avfall och returråvaror 1993*. Na 28 SM 9501.
- SCB [1996 a], *Varutransporter med lastbil och järnväg under 1995*, T 30 SM 9603.
- SCB och Konjunkturinstitutet [1994], *SWEEA -Svenska miljöräkenskaper. En lägesrapport*. (Miljöräkenskapsserien, rapport 1998:1).
- SCB [1996 b], *Nationalräkenskaper 1980-1995*, N10 SM 9601.



*Otryckta källor*

SCB [1997], *Disaggregation and improvement of the Swedish NAMEA*, Sara Ribacke och Gia Wickbom.

*Källor på Internet*

Gränges Aluminium: [www.graenges.se](http://www.graenges.se)

Jernkontoret: [www.jernkontoret.se](http://www.jernkontoret.se)

Rocky Mountain Institute: [www.rmi.org](http://www.rmi.org)

SCB:s statistikdatabaser: [www.scb.se](http://www.scb.se)

## I serien Miljöräkenskaper har följande rapporter utkommit

		<u>Ansvarig myndighet</u>
1998:1	SWEEA, Swedish Economic and Environmental Accounts Svenska miljöräkenskaper, En lägesrapport från Konjunkturinstitutet och Statistiska Centralbyrån 1994	KI och SCB
1998:2	SWEEA, Swedish Economic and Environmental Accounts English version 1994	KI och SCB
1998:3	Materialflöden och kretslopp i de svenska miljöräkenskaperna - en förstudie 1995	SCB
1998:4	Industrins miljöskyddskostnader 1991	SCB
1998:5	Aggregering av miljödata till miljöhot - en förstudie 1996	SCB
1998:6	Samband mellan miljö och ekonomi, en rapport om fysiska miljöräkenskaper i Sverige	SCB
1998:7	Kostnader för att minska utsläpp av kväveoxider och flyktiga organiska ämnen	NV
1998:8	Avfall 1993	SCB
1998:9	Svenska miljöräkenskaper för svavel och kväve samt Sveriges kostnader för kväveutsläpp	KI
1998:10	Miljöräkenskapsprojektet vid Konjunkturinstitutet 1992-1997 med bilagorna Gröna nationalräkenskaper Att konstruera ett miljöräkenskapssystem	KI
1998:11	Indikatorer för hållbar utveckling - en pilotstudie	SCB
1999:1	Minskade koldioxidutsläpp genom förändrad materialanvändning - en förstudie	SCB
1999:2	Miljöföretag och gröna jobb i Sverige	SCB

## I Sveriges officiella statistik har publicerats

Na 53 SM 9601	Miljöräkenskaper, Fysiska räkenskaper för energi och utsläpp till luft 1989, 1991 och 1993	SCB
------------------	---	-----

## Övriga rapporter

Utöver rapporter i serien Miljöräkenskaper finns metodrapporter samt ett antal bilagerapporter. Rapporterna kan beställas från respektive myndighet.

	<u>Ansvarig myndighet</u>
Miljöräkenskaper, lägesrapport, 1993	SCB
Miljöskyddskostnader i industrin – en probleminventering, 1993	SCB
Miljöräkenskaper och mobila källors utsläpp. PM M/MI 1995:21	SCB
Återvinningsindustrin i Sverige 1995, PM M/MI 1996:7	SCB
Material flow studies at Statistics Sweden and the National Chemical Inspectorate. PM M/MI 1996:10	SCB
Testing SERIEE's Environmental Expenditure Account in Sweden. PM M/MI 1996:13	SCB
Koppling ekonomiska och fysiska data: Miljöskyddskostnader för svavel och kväve - en delrapport. PM M/MI 1996:14	SCB
Några tankar om input-outputanalyser i miljöräkenskaperna. PM M/MI 1997:2	
Modellbaserad skattning av avfallsmängder - inledande studie för industribranscher PM M/MI 1998:4	SCB
Miljöräkenskaper - utsläpp till luft 1993 av kolmonoxid, metan, dikväveoxid och ammoniak PM M/MI 1998:5	SCB
<i>Bilagor till SWEEA - Svenska miljöräkenskaper, 1998:1</i>	
Beskrivning av energiräkenskaperna, av utsläppsberäkningarna samt av näringsgrensklassificeringar	SCB
Statens miljövardkostnader	SCB
Miljöjusterade nationalräkenskaper för den svenska skogen åren 1987 till 1991	KI
Miljötillgångar i nationalförmögenhetsberäkningarna	SCB
Klassificering av naturkapital och miljö tjänster & Naturresursräkenskaper i monetära termer	KI
En beräkning av skogsförurningens skadepkostnader samt Korrosionsskadepkostnaden orsakad av SO <sub>2</sub> emissioner	KI
<i>Bilagor till Svenska miljöräkenskaper för svavel och kväve , 1998:9</i>	
Den svenska skogens rekreativsvärde	KI
Nitrate concentration in Swedish groundwater- costs and benefits of reduction	KI

Samhällsekonomisk värdering av kväveoxidrelaterade hälsoeffekter

KI

Fisk - en miljöhotad naturresurs

KI