

Åtgärdsalternativ i Sverige - en sektors- vis genomgång

Delrapport 3 i Energimyndighetens och
Naturvårdsverkets underlag till Kontrollstation 2008

Fler exemplar av denna rapport beställer du på:

Energimyndighetens publikationsservice
ER 2007:29
ISSN 1403-1892
www.energimyndigheten.se
publikationsservice@energimyndigheten.se
Orderfax: 016-544 22 59

Naturvårdsverket
ISBN 91-620-5726-X
ISSN 0282-7298
www.naturvardsverket.se/bokhandeln
natur@cm.se
Ordertelefon: 08-509 933 40
Orderfax: 08-505 933 99

Förord

Energimyndigheten och Naturvårdsverket har gemensamt fått i uppdrag att utarbeta ett underlag inför utvärderingen av klimatpolitiken av klimatpolitiken vid kontrollstationen 2008. I uppdraget ingår att utarbeta en ny prognos för de svenska utsläppen, att genomföra en utvärdering av styrmedel och åtgärder liksom förutsättningarna att nå delmålet 2008-2012 samt regeringens bedömning avseende delmål för 2020. Myndigheterna skall även lämna förslag på utformning och nivåer för alternativa formuleringar av ett klimatmål som inkluderar de flexibla mekanismerna. Dessutom skall myndigheterna lämna förslag på hur samhällets olika sektorer bedöms kunna bidra till att uppfylla målen på lång och medellång sikt med sektorsvisa inriktningsmål.

Denna underlagsrapport har två syften. Dels beskriver den historiska och prognostiserade utsläppsutvecklingen i samhällets olika sektorer. De drivkrafter som är av betydelse för denna utveckling diskuteras. Dels görs en genomgång av de åtgärdsalternativ som finns i de olika sektorerna för att minska utsläppen av växthusgaser och, där så är möjligt, uppskattar kostnaderna för att minska utsläppen.

Rapporten har en struktur som en antologi där de olika sektorsbeskrivningarna kan fungera som separata texter. Som en inledning ges en sammanfattande beskrivning av åtgärdsalternativ samt en beskrivning av de utgångspunkter och metoder som använts i rapporten.

Rapporten har haft ett stort antal författare. Kapitlet om transporter har skrivits av Kristina Holmgren, Energimyndigheten och Sven Hunhammar Erika Budh, Naturvårdsverket, kapitlet om bostäder och lokaler av Tea Alopaeus, Naturvårdsverket och Anette Persson, Energimyndigheten, kapitlet om industrin av Bengt Johansson och Reino Abrahamsson, Naturvårdsverket, kapitlet om energisektorn av Tobias Persson, Energimyndigheten, kapitlet om avfall av Simon Lundeberg, Klimatgruppen och Eva Jernbäcker och Catharina Östlund från Naturvårdsverket. Kapitlet om jordbrukssektorn har slutligen skrivits av Erika Budh och Eva Jernbäcker från Naturvårdsverket och Johan Wahlander, Jordbruksverket. Det inledande kapitlet har gemensamt tagits fram av Erika Budh och Bengt Johansson, Naturvårdsverket och Tobias Persson, Energimyndigheten. Den sammanfattande bedömningen av åtgärdsalternativ har sammanställts av Erika Budh, Naturvårdsverket. Utöver dessa författare har värdefulla bidrag kommit från ett flertal medarbetare vid Energimyndigheten och Naturvårdsverket.

Innehåll

1	Sammanfattande beskrivning av åtgärds möjligheter	7
1.1	Inledning	7
1.2	Transportsektorn	10
1.3	Bostäder och lokaler	12
1.4	Industri	13
1.5	Energitillförselsektorn	14
1.6	Avfall	15
1.7	Jordbruk	15
2	Avgränsningar och metod i sektorsbeskrivningarna	17
2.1	Åtgärds potentialer och åtgärds kostnader – vad skall de användas till	18
2.2	Olika typer av potentialer – vad innebär dessa?	19
2.3	Grunder för åtgärds kostnadsberäkningar	20
2.4	Avgränsningsfrågor	23
3	Transportsektorn	25
3.1	Sammanfattning - transportsektorn	25
3.2	Transportsektorn – struktur, trender och prognostiserad utveckling	27
3.3	Inledning om åtgärds möjligheter och kostnader	40
3.4	Åtgärder: Personresor	42
3.5	Åtgärder: Godstransporter	46
3.6	Öka andelen biodrivmedel	51
4	Bostäder och lokaler	63
4.1	Sammanfattning – bostäder och lokaler	63
4.2	Utsläppstrender, prognoser och drivkrafter	65
4.3	Sektorns utveckling och utsläpp	65
4.4	Åtgärds möjligheter och åtgärds kostnader	71
5	Industrisektorn	85
5.1	Sammanfattning	85
5.2	Industrisektorn - struktur, trender och prognostiserad utveckling	86
5.3	Prognoser över industrisektorns utsläpp	94
5.4	Åtgärds möjligheter och åtgärds kostnader	95
6	Energitillförsel	115
6.1	Sammanfattning - energisektorn	115
6.2	Inledning	116
6.3	Utsläpp av växthusgaser från energiindustrin	116
6.4	Åtgärds möjligheter och kostnader	127
7	Avfallssektorn	145
7.1	Sammanfattning	145

7.2	Struktur, trender och prognostiserad utveckling.....	145
7.3	Åtgärdsalternativ och åtgärdskostnader	153
8	Jordbrukssektorn	167
8.1	Sammanfattning.....	167
8.2	Utsläppstrender och prognoser	168
8.3	Åtgärdsalternativ och åtgärdskostnader	175
9	Referenser	181
	Bilaga 1 Antaganden för beräkningar i avsnittet om energitillförsel	191
	Bilaga 2 Kostnader för åtgärder inom gödselhantering	192
	Bilaga 3 Produktionsbortfall organogena jordar	195
	Bilaga 4 Energieffektivare kostvanor	197

1 Sammanfattande beskrivning av åtgärdsalternativ

1.1 Inledning

Syftet med denna sammanfattande beskrivning är att visa storleksordningar på potentialer och kostnader för åtgärder som identifierats i de olika sektorerna. Ambitionen är att enkelt åskådliggöra ett omfattande material och möjliggöra översiktliga jämförelser mellan sektorerna. Ambitionen är dock inte att ge exakta svar på vilka potentialerna och kostnaderna är, eftersom osäkerheterna är alltför stora.

Här görs också jämförelser mellan våra och IPCCs¹ resultat avseende vilka åtgärder som identifierats och storleksordningen på reduktionspotentialerna i olika sektorer relativt varandra. IPCC bedömer och sammanställer forskningsresultat, men ger inga politiska rekommendationer. Deras rapport har ett globalt perspektiv och behandlar utsläppstrender, kostnader för utsläppsminskningar på kort och lång sikt, policy, styrmedel och åtgärder för utsläppsminskningar.

1.1.1 Förutsättningar

Alla beräkningsresultat beror av de förutsättningar som använts i det specifika fallet. Dessa finns beskrivna i underliggande sektorsbeskrivningar. De potentialer som redovisas här avser i möjligaste mån ytterligare möjligheter till utsläppsreduktioner utöver den prognos som tagits fram inom uppdraget. En del åtgärder kommer in i prognosen, som t.ex. ökad kraftvärmeproduktion. Det är inte alltid helt uppenbart hur stor del av en åtgärds potential som ligger i prognosen och hur mycket som skulle kunna tillkomma. För en rad åtgärder har vi valt att inte räkna med ytterligare potentialer utöver prognosen. I beräkningen av åtgärds-kostnader är de ekonomiska incitament som existerande styrmedel ger inte beaktade, vilket påverkar den faktiska åtgärds-kostnaden och potentialen.

I figurer nedan sammanfattas identifierade åtgärder inom respektive sektor. Det kan finnas dubbelräkningar av potentialer genom att t.ex. möjlig knapphet på olika biobränslen inte har beaktats. Men det är också viktigt att vara medveten om att de totala potentialerna i respektive sektor utgår från dagens förhållanden. Alltså kan framtida möjligheter ha underskattats. Det kan finnas åtgärder som har förbisetts, t.ex. ny teknik som utvecklas under tiden fram till år 2020. Men det kan också komma förändringar i kostnadsbilden som innebär en större potential för idag känd teknik. Åtgärds-potentialer som är extremt osäkra eller som skulle kunna resultera i utsläppsreduktioner utanför Sverige, markeras med en streckad inramning.

¹ IPCC (2007).

Kostnaderna är osäkra av flera skäl. För det första är det genomsnittliga specifika kostnader för en åtgärd som redovisas. Kostnaderna kan variera i enskilda fall och följaktligen vara såväl lägre som högre än genomsnittet. För det andra är den genomsnittliga kostnaden beroende av vilka antaganden som görs om t.ex. bränslepriser och diskonteringsränta. Olika antaganden resulterar i olika kostnadsuppskattningar, vilket åskådliggörs i figurerna med en pil. Pilens längd är densamma för samtliga åtgärder eftersom underlag saknas för att visa denna osäkerhet exakt. För det tredje är kostnadsuppskattningarna gjorda på kort sikt. En idag innovativ produkt, som tillverkas förhållandevis dyrt till en nischmarknad med liten volym, kan över tiden bli billigare genom teknikutveckling och övergång till massmarknad med lägre produktionskostnader som följd. Dock är det mycket vanskligt att sia om dessa framtida kostnader. Kostnadsuppskattningar som väntas förändras mycket över tiden markeras genom att hela ytan snedstreckas.

Sammantaget betyder dessa förbehåll att beräknade kostnader inte ska tolkas som exakta angivelser.

1.1.2 Slutsatser

- Det finns möjligheter att minska utsläppen av växthusgaser i Sverige i ett medellångt perspektiv.

Åtgärdsalternativ har identifierats i samtliga sektorer.

I transportsektorn är en högre drivmedelseffektivitet central, oavsett vilket drivmedel som används. Den andra generationens biobränslen kan bli betydelsefulla, det är dock högst osäkert om de kommer in på marknaden i någon större skala innan år 2020. Strukturella åtgärder som samhällsplanering och bättre samverkan mellan olika transportslag poängteras både av IPCC och för Sveriges del. Det saknas dock underlag för att bedöma såväl kostnader som potentialer.

Kraftigt minskande utsläpp av växthusgaser karaktäriserar redan sektorn bostäder och lokaler till följd av konverteringar från fossilbränslebaserad uppvärmning. Därför sätts i denna rapport energieffektiviseringsåtgärderna i fokus.

För industrin är en viktig strategi att tillhandahålla energisnålare produkter. De åtgärder som har kunnat översättas till utsläppsminskningar är dock kopplade till produktionen, framförallt genom att ersätta eldningsolja med biobränslen i olika industrisektorer och minska processutsläppen.

I energitillförselsektorn är de åtgärder som identifierats att ersätta fossila bränslen med biobränslen och att minska distributionsförlusterna i fjärrvärmenät. Koldioxidavskiljning och lagring kan bli intressant längre fram i tiden, men några större utsläppsminskningar med denna teknik till 2020 har inte bedömts vara möjlig.

De åtgärdsalternativ som framträder inom avfallssektorn är ökad materialåtervinning och ersättning av fossila bränslen både genom avfallsförbränning och biogasproduktion.

Även jordbrukssektorn kan bidra till utsläppsreduktioner inom andra sektorer genom bioenergiproduktion, men också sektorns egna utsläpp kan minskas genom t.ex. effektivare användning av arbetsmaskiner och bränslekonverteringar.

- Effektivisering är identifierad som en billig åtgärd inom flera sektorer.

I nästan alla sektorer har energieffektivisering identifierats som den billigaste åtgärden och i flera fall visas en stor potential att minska utsläppen av växthusgaser. Även i IPCCs² fjärde utvärderingsrapport identifieras en negativ kostnad för ett stort antal effektiviseringsåtgärder. Det finns emellertid flera betydande avgränsningsproblem vid dessa beräkningar som påverkar potentialer och kostnader.

Den vanligaste utgångspunkten för att bedöma miljöeffekten och åtgärdskostnaden för en effektiviseringsåtgärd är att det är de verkliga förändringarna som uppstår till följd av åtgärden som bör ligga till grund för bedömningen. Delar av eller hela miljöeffekten kan emellertid med denna utgångspunkt hamna utanför Sverige då bränslen och el handlas på en internationell marknad.

Kostnad och potential för en effektiviseringsåtgärd påverkas av preferenser och värderingar. Till exempel är den tekniska potentialen hög för att energieffektivisera fordon samtidigt som kostnaden kan vara negativ. Men i det enskilda beslutet tas också hänsyn till andra faktorer såsom förändrad bekvämlighet, status och trafiksäkerhet. Potentialen för åtgärden kan då bli mindre än den rent tekniska potentialen och kostnaden högre.

Effekten på de totala utsläppen av en effektiviseringsåtgärd beror även på den så kallade reboundeffekten. Till exempel ger en effektivare bil lägre rörliga kostnader vilket gynnar ökat resande. I flertalet situationer är därför effekten på de totala utsläppen lägre än den direkta effekten av energieffektiviseringen. Storleken på denna effekt är beroende av flera framtida osäkerheter såsom bränslepriser och val av styrmedel.

- Biobränslen är en begränsad resurs som måste nyttjas effektivt

På lång sikt kan en knapphet på bioenergi förväntas. Det innebär att en effektivisering av biobränsleanvändning i en applikation innebär att bränslet kan användas i en annan applikation och där ersätta fossila bränslen. Det innebär att

² IPCC (2007).

en minskad bibränsleanvändning på så sätt indirekt ger upphov till en reduktion av koldioxidutsläppen i ett vidare perspektiv.

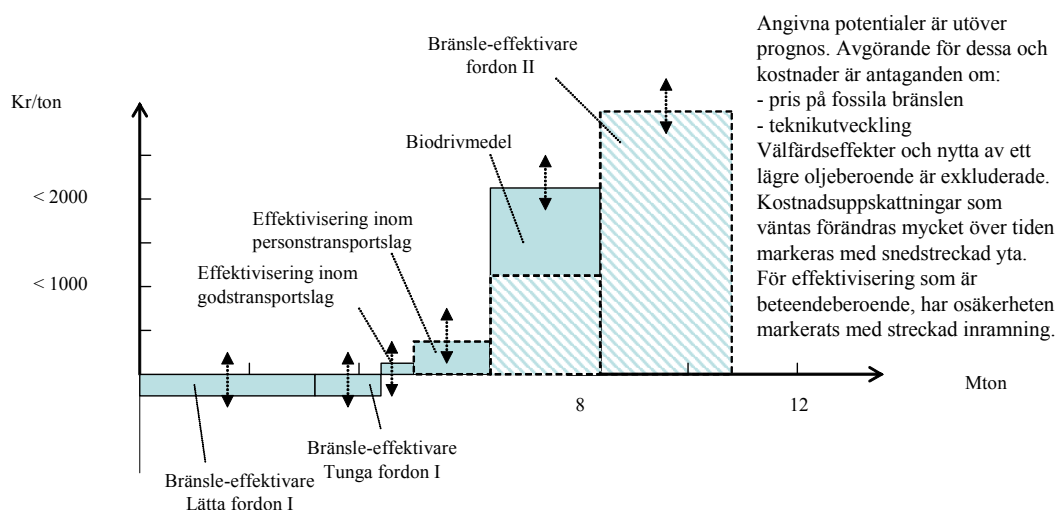
Knappheten på markareal för bibränslen innebär att kostnaderna för en del av de identifierade åtgärderna kan komma att öka om bibränslepriserna stiger som en följd av ökad efterfrågan. Det går emellertid inte ur analyserna i denna rapport avgöra vilka åtgärder som kommer att genomföras då olika förutsättningar finns för åtgärds-kostnadsberäkningarna, andra styrmedel inte är inkluderade och aktörerna som skall genomföra åtgärden har olika betalningsvilja.

1.2 Transportsektorn

Transportsektorn stod år 2005 för utsläpp på drygt 20 Mton eller knappt 30 % av utsläppen i Sverige. Till år 2020 beräknas utsläppen i sektorn öka med ca. 16 %, i relation till utsläppen år 1990.

I sektorsbeskrivningen för transportsektorn identifierades en stor potential för ökad bränsleeffektivitet och hybridteknik för såväl lätta som tunga fordon. Vidare har en rad möjligheter till ytterligare effektiviseringar genom t.ex. effektivare nyttjande av godstransporter och beteendeåtgärder såsom sparsam körning och sänkt hastighet hittats. En översiktlig bild av åtgärds-potential och åtgärds-kostnad redovisas i följande figur.

Figurens horisontella axel visar en uppskattning av reduktionspotential i Mton runt år 2020, med dagens förutsättningar. Den vertikala axeln visar en storleksordning på kostnaderna i kr/ton och år. Åtgärderna sorteras efter lägsta kostnad, så att kostnaderna ökar ju lägre till höger på den horisontella axeln återfinns.



Figur 1 Åtgärder inom transportsektorn rangordnade efter kostnad

För ökad bränsleeffektivitet genom tekniska åtgärder finns olika kostnadsuppskattningar. Den fördelning av potential på kostnadskategorier som finns för lätta fordon har använts även för tunga fordon. Dessa åtgärdskostnader är beräknade på ett oljepris som är ungefär hälften så högt som motsvarande pris i prognosen. Således är åtminstone åtgärdskostnaden i den högre kategorin överskattad. Dessutom är de högre kostnaderna beräknade på första generationens hybridteknik. Beräkningarna som redovisas ovan förutsätter ingen reduktion av fordonets storlek eller motorstyrka.

Effektiviseringar inom transportslagen som ändrad körstil och sänkt hastighet har bedömts som lönsamma i analyser som väger in ett stort antal effekter, som t.ex. ökad trafiksäkerhet och tidsåtgång. Det faktum att de inte genomförs i större utsträckning spontant tyder på att inte samtliga dessa effekter beaktas av den enskilde, eller att ytterligare effekter existerar som påverkar individens val.

Första och andra generationens biodrivmedel har inkluderats schablonmässigt i figuren för att illustrera att det finns en potential. Potentialen för första generationens biobränslen beror t.ex. på efterfrågan på världsmarknaden, konkurrenssituationen med andra användningsområden och total biomassepotential. Den andra generationens biobränslen kan ha introducerats på marknaden till år 2020. Dessa förväntas bli billigare än den första generationen, men de ligger ännu för långt i framtiden för att någorlunda säkra angivelser om kostnader och potentialer ska kunna ges.

Konvertering till första generationens biodrivmedel (biogas, RME och etanol från jordbruksprodukter) faller ut som en förhållandevis dyr åtgärd. Dock finns två väsentliga förutsättningar i beräkningarna som skulle kunna innebära lägre åtgärdskostnader. För det första är dessa kostnader beräknade på ett oljepris som är ungefär hälften av motsvarande pris i prognosen, eftersom de är hämtade från externa källor. Då oljepriset är detsamma i samtliga åtgärdsanalyser inom transportsektorn skulle en omräkning inte påverka rangordningen av åtgärderna men kostnaderna i absoluta tal. För det andra är bieffekter som värdet av ett mindre oljeberoende inte inkluderade i analysen. Med andra generationens biobränslen förväntas lägre kostnader och ytterligare potential.

Enligt IPCC³ är de viktigaste åtgärderna till år 2030 för att globalt minska utsläppen i transportsektorn att öka användningen av effektivare fordon, hybridteknik och biobränslen, att byta färdmedel från väg till spårbunden trafik, att öka kollektivtrafiken i övrigt liksom cykel- och gångtrafiken samt planera samhället för effektivare transporter. Denna lista överensstämmer väl med de åtgärder som identifierats för Sverige. Strukturella åtgärder som samhällsplanering och bättre samverkan mellan olika transportslag poängteras både av IPCC och för Sveriges del. Det saknas dock underlag för att bedöma kostnader och potentialer. Enligt IPCC är potentialen för åtgärder som samhällsplanering störst för länder med en växande befolkning och en snabb expansion av den bebyggda miljön. I IPCCs

³ IPCC (2007).

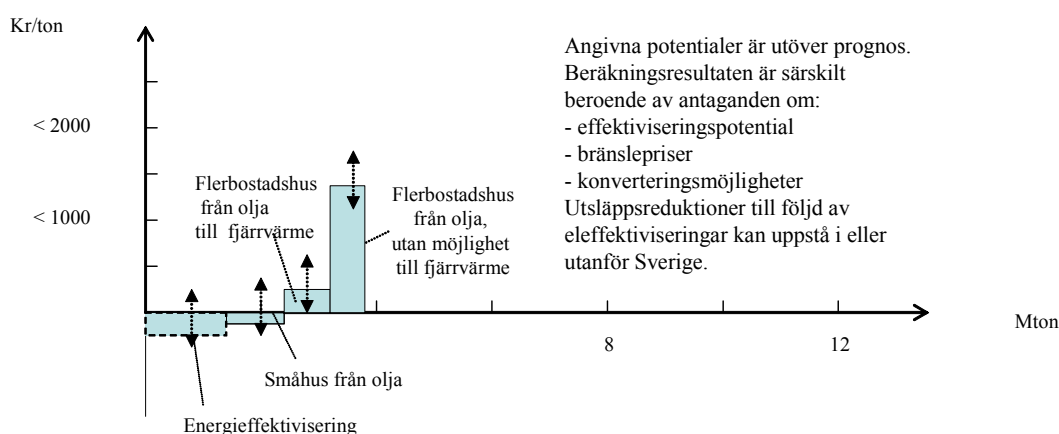
rapport är den totala potentialen i transportsektorn förhållandevis liten, särskilt i relation till bostäder och lokaler. Det beror på att urvalet av åtgärder inom denna sektor varit kraftigt begränsat till enkla tekniska åtgärder och baseras på kostnadsuppskattningar på kort sikt.

En generell slutsats som kan dras av vår analys är att en ökad bränsleeffektivitet är central, oavsett vilket drivmedel som används.

1.3 Bostäder och lokaler

Kraftigt minskande utsläpp av växthusgaser karaktäriserar sektorn bostäder och lokaler till följd av konverteringar från fossilbränslebaserad uppvärmning. Minskningen har accelererat de senaste åren, då oljepriserna har varit höga, och förväntas fortsätta.

Åtgärder i denna sektor kan minska utsläppen inom sektorn direkt eller via lägre användning av el- och fjärrvärme. Som intressanta åtgärder framträder konverteringar från fossilbränslebaserad uppvärmning och eleffektiviseringsåtgärder. Det är svårt att uppskatta den totala storleksordningen för effektiviseringsåtgärder i elvärmda bostäder och lokaler.



Figur 2 Åtgärder inom bostäder och lokaler rangordnade efter kostnad

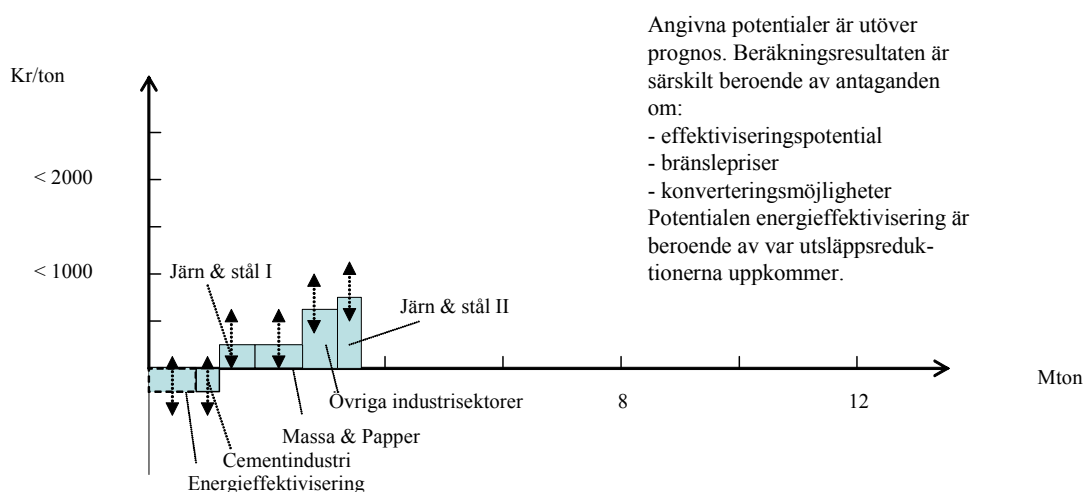
Effektiviseringsåtgärder i småhus som tilläggsisolering av fasad, komplettering av fönster med en tredje ruta, tätning fönster och dörrar samt frånluftsvärme-pump ger kostnadsbesparingar. Vindsisolering kostar mellan 200-500 kr/ton koldioxid därefter följer fler fönsteråtgärder och värmeåtervinning ur ventilationsluft som beräknas bli mer kostsamma. I flerbostadshus och lokaler ger vindsisolering, värmeåtervinning ur ventilationsluft, justering av värmesystem och driftoptimering av ventilationen kostnadsbesparingar. Komplettering av fönster är också förhållandevis billigt. Dyrast är att byta fönster som en energiatgärd utan att fönstren är uttjänta.

Enligt IPCC⁴ är de viktigaste åtgärderna till år 2030 för att globalt minska utsläppen kopplade till byggnader effektivare belysning och nyttjande av dagsljus, effektivare elektriska apparater och redskap samt uppvärmning och kylning, isolering samt passiv och aktiv solenergi för uppvärmning och kylning. Man konstaterar också att denna sektor har den största potentialen globalt. I Sverige är energieffektivisering i bostäder och lokaler viktigt.

1.4 Industri

Utsläppen av växthusgaser inom industrin var enligt sektorsbeskrivningen ca. 21 Mton år 2005 vilket motsvarar knappt 30% av Sveriges utsläpp. Industrins utsläpp domineras av järn- och stålindustrin som svarar för en tredjedel av sektorns utsläpp. Andra viktiga sektorer är cementindustrin, massa- och pappersindustrin och kemiindustrin. De totala utsläppen från industrin bedöms öka med 14 procent till 2020 jämfört med 2005. Utsläppen från förbränning står för den största ökningen.

En viktig roll för industrin är att tillhandahålla energisnålare produkter. Möjliga utsläppsreduktioner genom lägre energianvändning i produkters användningsfas har inte kunnat kvantifieras i denna rapport. De åtgärder som identifierats är minskningar av utsläppen kopplade till produktion, framförallt genom att ersätta eldningsolja med biobränslen i olika industrisektorer och genom att minska processutsläppen. Det finns inga heltäckande kartläggningar av effektiviseringspotentialen inom sektorn varför utsläppsminskningspotentialen för denna åtgärd inte har kunnat kvantifieras. Förutsättningarna för fortsatta effektiviseringar bedöms dock fortsatt vara goda. Koldioxidavskiljning och lagring kan vara intressant på sikt för vissa sektorer men några utsläppsminskningar av betydelse till år 2020 med denna teknik har inte antagits kunna ske.



Figur 3 Åtgärder inom industrisektorn rangordnade efter kostnad

⁴ IPCC (2007)

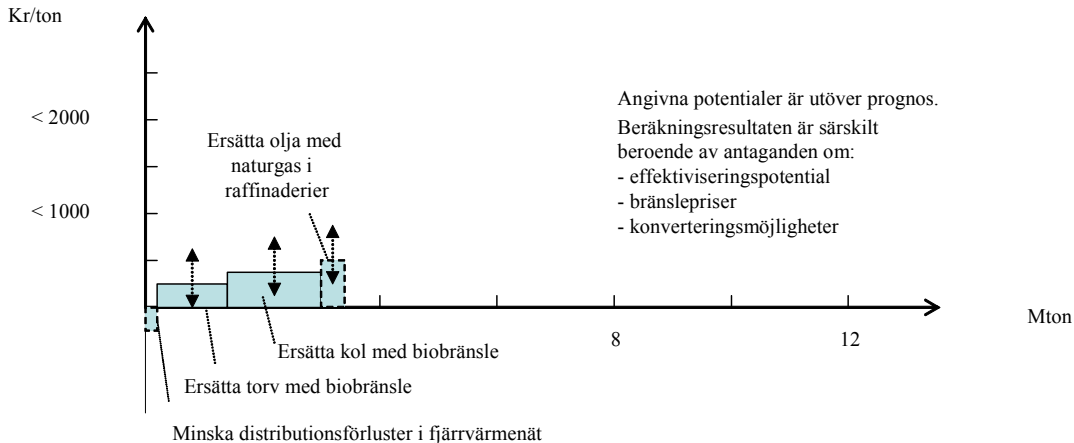
I våra känslighetsanalyser framkommer att kostnadsberäkningarna är mycket känsliga för de antaganden som görs om t.ex. bränslepriser. Utöver de åtgärder som redovisats ovan kan industrisektorn också bidra till en ökad resurseffektivitet genom att öka elproduktionen.

Enligt IPCC är de viktigaste åtgärderna globalt till år 2030 att industrin utvecklar produkter som är energieffektiva under användningsfasen, värme- och kraftåtervinning, återanvändning och substitution av material samt processspecifika tekniska åtgärder. I den globala genomgången finns relativt stora potentialer för utsläpps begränsningar i denna sektor, men marginalkostnaden stiger snabbare än i andra sektorer. Potentialen i Sverige skulle bli större om åtgärder inom samtliga kategorier som identifieras av IPCC hade kunnat inkluderas.

1.5 Energitillförselsektorn

Energitillförselsektorn bidrar med ungefär en tiondel av Sveriges totala växthusgasutsläpp idag. Dessa utsläpp bedöms öka med 31 procent till år 2010 jämfört med 1990 och förväntas öka ytterligare till 2020. Den främsta anledningen till ökningen är att utsläppen från el- och fjärrvärmeproduktion ökar.

Kraftvärme kommer in i prognosen i relativt stor utsträckning, därför redovisas ingen ytterligare potential här. Koldioxidavskiljning och lagring finns kommersiellt tillgänglig från år 2020, men större utsläppsminskningar ligger något senare i tiden.



Figur 4 Åtgärder inom el- och värmeproduktion rangordnade efter kostnad

En ytterligare stor osäkerhet är hur mycket ny produktion som tillkommer som ger upphov till utsläpp av växthusgaser. Sverige har raffinaderier med hög effektivitet och det är svårt att hitta åtgärder för att effektivisera ytterligare, men att öka andelen naturgas skulle kunna reducera utsläppen.

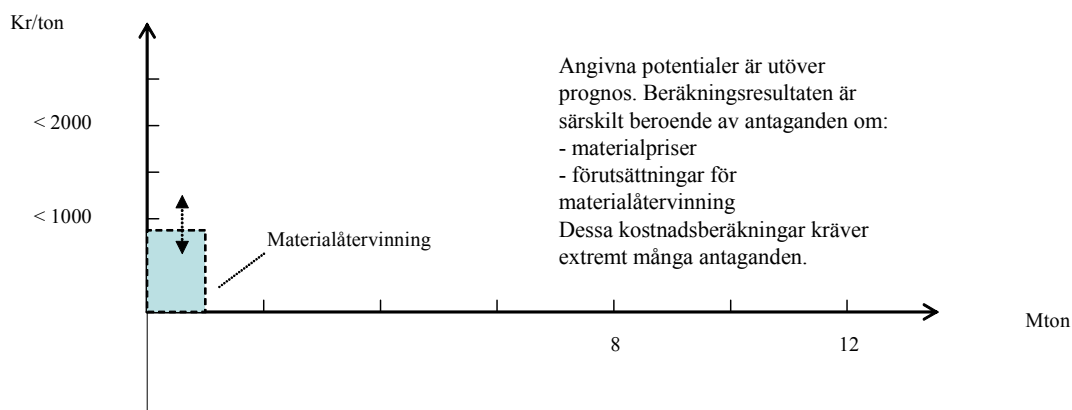
Enligt IPCC är de viktigaste åtgärderna till år 2030 globalt ökad effektivitet i utbud och distribution, bränslebyten från kol till gas, förnybara energikällor (en ökning från 18 till 30-35 procent av den globala elförsörjningen), begränsad utbyggnad av kärnkraft (från 16 till 18 procent av den globala elförsörjningen),

kraftvärmeproduktion samt koldioxidavskiljning och lagring. I den globala genomgången finns en större potential i denna sektor än i transportsektorn.

1.6 Avfall

År 2005 var de totala utsläppen från avfallsdeponier, förbränning av farligt avfall samt avloppsrening ca. 2,2 miljoner ton koldioxidekvivalenter. Av dessa utsläpp dominerar metanutsläppen från avfallsdeponier, som förväntas minska kraftigt till följd av deponiförbudet.

De åtgärdsalternativ som framträder inom avfallssektorn är ökad materialåtervinning och att ersättning av fossila bränslen både genom avfallsförbränning och biogasproduktion. Ökad kraftvärmeproduktion vid avfallsförbränning antas redan ligga i prognosen, som innehåller mycket kraftvärme. Olika typer av materialåtervinning bedöms ge mycket varierande kostnader och potentialer.



Figur 5 Åtgärder inom avfallssektorn rangordnade efter kostnad

Utsläppsreduktioner genom att ersätta fossila bränslen med avfall eller biogas redovisas inte i figuren för att undvika dubbelräkning. Dessutom kan läckage av lustgasemissioner från lagring av slam från kommunala reningsverk idag motsvara koldioxidutsläpp på ca. 330 kton/år. Dessa utsläpp skulle kunna minska avsevärt genom relativt enkla åtgärder till en kostnad på omkring 10-15 kr/ton.

Enligt IPCC är de viktigaste åtgärderna inom avfallsområdet i ett globalt perspektiv: återvinning av metan från deponier, avfallsförbränning för energiåtervinning, kompostering av organiskt avfall samt återvinning och avfallsminimering. I såväl den svenska genomgången av åtgärder i sektorerna och i den globala uppvisar avfallsområdet de lägsta potentialerna för utsläppsreduktioner. Men avfallsbränslen kommer dock in i andra sektorer.

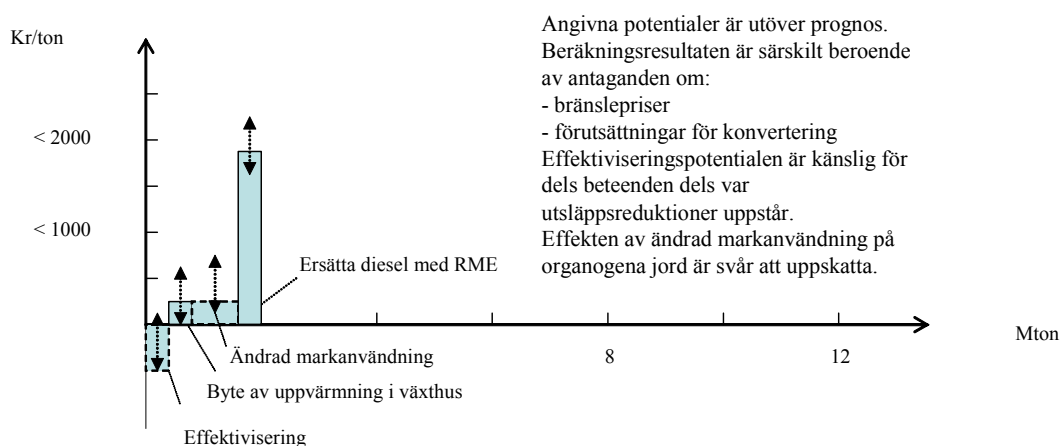
1.7 Jordbruk

Jordbruket står idag för utsläpp av metan och dikväveoxid på ca. 8,6 Mton koldioxidekvivalenter. Utsläppen av koldioxid från energianvändningen inom

jordbruket beräknas dessutom uppgå till ca. 1 Mton/år och utsläppen av koldioxid från jordbrukets markanvändning till 2 Mton/år. Utsläppen av metan och lustgas bedöms minska med 20 procent till 2020 i jämförelse med år 1990. Även utsläppen från energianvändningen minskar.

De åtgärder som identifieras som möjliga är effektivare användning av arbetsmaskiner, mindre energikrävande spannmålstorkning, konvertering till bio-bränslebaserad uppvärmning av bostäder och växthus. Därutöver kan tilläggas minskad odling på organogena⁵ jordar. Att lägga dessa marker i träda eller använda dem som betesmarker istället för att odla dem, kan bidra till en ökad kolsänka. Ytterligare en åtgärd är att öka produktionen av bioenergi inom jordbruket, denna ger dock utsläppsreduktioner inom andra sektorer. Studier indikerar att svenskt jordbruk har en ekonomisk potential att producera 30 TWh år 2020.

Enligt IPCC⁶ är de viktigaste åtgärderna, i ett globalt perspektiv, för att minska jordbrukets utsläpp ändrad markanvändning för att öka inlagring, t.ex. minskad odling på organogena jordar, minskning av de specifika utsläppen från boskap genom t.ex. foderanpassning och förbättrad stallgödselhantering, förbättrad teknik för spridning av kvävegödsel, produktion av biobränslen och ökad energieffektivitet. I ett globalt perspektiv är åtgärdsalternativen inom jordbruket stora, d.v.s. jämförbara med energi- och transportsektorerna, och betydligt större än i avfallssektorn⁶. Sverige har redan av andra anledningar genomfört många av de åtgärder som diskuteras globalt. Intresset för bioenergi från åkermark är idag större än på länge. För att bättre kunna samordna det svenska jordbrukets åtgärder mot miljömålet ”Ingen övergödning” och arbetet om utsläpp av dikväveoxid krävs forskningsinsatser för att bättre klarlägga vad som gör att dikväveoxid blir resultatet kväveanvändningen.



Figur 6 Åtgärder inom jordbruket rangordnade efter kostnad

⁵ Torvjordar

⁶ IPCC (2007)

2 Avgränsningar och metod i sektorsbeskrivningarna

De sektorsbeskrivningar som redovisas i denna rapport är en del av det arbete som Energimyndigheten och Naturvårdsverket bedriver inom ramen för regeringsuppdraget inför Kontrollstation 2008. Sektorsbeskrivningarna bidrar i det sammanhanget med flera delar nämligen:

- En beskrivning som djupare förklarar den historiska utvecklingen och prognosresultaten.
- En kartläggning av möjliga åtgärder i olika sektorer och kostnaderna för dessa. I uppdragsbeskrivningen finns särskilda önskemål om att marginalkostnader i olika sektorer skall redovisas.
- Kartläggningen kan fungera som utgångspunkt för förslag på styrmedel för att nå klimatmålet.
- Sektorsbeskrivningarna kan användas i arbetet med sektorsmål. För att analysera när sådana mål kan motiveras och i så fall hur de ska utformas är det värdefullt med en grundlig analys av de olika sektorernas karaktäristika och förutsättningar.

I denna inledande text sammanfattas utgångspunkter, förutsättningar och problem giltiga för samtliga sektorsbeskrivningar i rapporten.

Perspektivet för sektorbeskrivningarna är funktionellt, vilket innebär utsläpp och åtgärdsalternativ i största möjliga grad beskrivs i den sektor där möjligheterna att minska utsläppen finns. Det innebär att redovisningen i vissa avseenden kan skilja sig från uppdelningen i utsläpps- och energistatistiken. I vissa fall kommer dock åtgärder att redovisas i flera sektorer när avgränsningen mellan sektorerna inte är självklar.

I många fall uppstår de utsläppsminskningar som följer av en åtgärd i en sektor inte i samma sektor utan i en annan sektor. Ett exempel är åtgärden ökad produktion av bioenergi, som funktionellt hör till jordbruks eller skogsbrukssektorn men där utsläppsminskningen sker i el- och värmesektorn eller möjligen transportsektorn. Det samma gäller ökat utnyttjande av spillvärme från industrin liksom ökad mottrycksproduktion där åtgärden till största delen är kopplad till industriell verksamhet men där utsläppsminskningarna redovisas i el- och värmesektorn. Mer generellt gäller det för reducerad elanvändning där utsläppsminskningen sker i elsektorn även om åtgärden sker i t.ex. bostadssektorn. Denna senare punkt diskuteras mer nedan.

2.1 Åtgärdspotentialer och åtgärdskostnader – vad skall de användas till

En central del av sektorsrapporterna är beräkningarna av åtgärdspotentialer och åtgärdskostnader. Som utgångspunkt för en diskussion kring hur man skall ta fram dessa är det viktigt att fundera över vad de skattade potentialerna och åtgärdskostnaderna skall användas till. I följande punkter noteras några möjliga användningsområden.

- Åtgärdskostnaderna kan indikera var (i vilken sektor eller i vilket land) utsläppsminskande åtgärder kan genomföras till lägsta kostnad. Till exempel skulle åtgärdskostnadsbedömningar kunna ligga till grund för en bedömning av hur stor tilldelning av utsläppsrätter som är rimlig till de sektorer som ingår i EUs handelssystem.
- Åtgärdspotentialer och åtgärdskostnader kan användas för att identifiera åtgärder med låga kostnader och stor potential ur klimatperspektiv där styrmedel idag saknas.
- Tillsammans kan åtgärdskostnaderna och åtgärdspotentialen ligga till grund för olika scenarier där utsläppsminskningar modelleras med utgångspunkt i olika prisantaganden för koldioxid.

Beräkningarna av åtgärdskostnader och potentialer ger däremot inte någon vägledning om dessa genomförs av aktörerna, detta beror av vilka styrmedel som används.

I en globalt effektiv policy bör inte hänsyn tas till var utsläppsminskningar sker. Det innebär till exempel att utsläppsminskningar utanför Sverige som en följd av till exempel eleffektivisering bör värderas lika högt som en reduktion inom landets gränser.

Om fokus i stället ligger på de svenska utsläppen och förutsättningarna för Sverige att klara sina internationella åtaganden kan finnas skäl att prioritera åtgärder som minskar utsläppen inom landet.

Trots att kontrollstationsarbetet genomförs med ett globalt perspektiv är utgångspunkten i sektorsbeskrivningarna att redovisa möjligheterna att minska utsläppen i Sverige. Där så är relevant och möjligt redovisas dock möjligheter till utsläppsminskningar utanför landets gränser. För eleffektiviseringar och ökad elproduktion som leder till förändrade utsläpp utanför Sverige redovisas, där så är möjligt, både effekterna på elbalansen som skattningar av effekten på utsläppen av växthusgaser.

Vår ambition är att, så långt möjligt, grovt beräkna en årlig åtgärdskostnad för att relatera till den potential som åtgärden bedöms ha. Detta redovisas som en kostnad i kr per ton. Baserat på enskilda åtgärdskostnader kan åtgärdena sedan rangordnas från lägsta till högsta åtgärdskostnad sektor för sektor, vilket ger en

grov indikation om marginell genomsnittskostnad för utsläppsbegränsningar i olika sektorer.

Kostnaden för att genomföra en enskild åtgärd beror på den specifika situationen och kan således vara både lägre eller högre än det genomsnitt som redovisas i dessa sektorsbeskrivningar. Detta är viktigt att beakta när effekterna av ett utsläppstak ska uppskattas eller den utsläppsreducerande potentialen för ett marknadsbaserat styrmedel skall redovisas

Det finns inget exakt svar på frågan om kostnaden för en given åtgärd, utan det beror på vilka antaganden och avgränsningar som görs i analysen. Avsikten med de åtgärds-kostnader som trots allt redovisas i detta uppdrag är att visa på storleksordningar och, där så är möjligt, visa på osäkerheter som finns genom att förändra olika förutsättning som påverkar kostnaden.

2.2 Olika typer av potentialer – vad innebär dessa?

Potentialer för utsläppsminskningar kan definieras på flera olika sätt. Utgångspunkten kan vara den tekniska potentialen som är kopplad direkt till de utsläppsminskningar som med den bästa tekniska lösningen kan genomföras. I den tekniska potentialen tas ingen hänsyn till kostnader för att genomföra åtgärden.

Den ekonomiska potentialen⁷ innefattar åtgärder som är lönsamma med utgångspunkt i samhällliga avkastningskrav. Den ekonomiska potentialen är mindre än den tekniska potentialen.

Marknadspotentialen⁸ innefattar de åtgärder där utsläppsminskningarna är tillräckligt lönsamma med befintliga marknadsförutsättningar och styrmedel för att de skulle kunna genomföras spontant. Dessa utsläppsminskningar bör därmed ingå i prognosen. Förutsättningarna att genomföra samma åtgärd kan skilja sig åt mellan olika företag och individer beroende vilka avkastningskrav, riskvärderingar, tillgång till kapital och vilka preferenser i övrigt man har.

I denna studie tas i potentialbedömningarna utgångspunkt i en praktisk-ekonomisk potential, genom att särskild vikt läggs på dynamiken i energi- och transportsystemet och hur snabbt tekniker kan ersättas med rimlig ekonomi ur ett samhällsligt perspektiv. Vår utgångspunkt är att det i allmänhet är fördelaktigt att genomföra utsläppsminskande åtgärder i samband med andra tekniska förändringar såsom fasadrenoveringar, normalt fordons- respektive apparatbyte. Detta begränsar potentialen jämfört med vad som är tekniskt möjligt. Dessutom innebär själva urvalet av åtgärder en inskränkning av den tekniska potentialen eftersom inte alla tänkbara åtgärder redovisas utan fokus ligger på sådana som bedöms vara samhällsekonomiskt rimliga i en ambitiös klimatpolitik. I flera studier som används som bas för potentialbedömningarna har man gjort någon

⁷ Motsvarar det som i IPCCs fjärde utvärderingspotential betecknas economic potential.

⁸ Motsvarar det som i IPCCs fjärde utvärderingspotential betecknas market potential.

form av praktisk-rimlighetsbedömning av hur stor grad en åtgärd kommer att genomföras förutsatt att vid olika förändringar i de ekonomiska incitamenten.

De åtgärdspotentialer som redovisas i sektorsbeskrivningen inkluderar, där så är möjligt att särskilja, endast åtgärder som *inte* förväntas bli genomförda med dagens styrmedel och därmed ligger utöver vad som ingår i kontrollstationens prognoser.

Potentialerna för en enskild åtgärd påverkas också av vilka andra åtgärder som genomförs. Till exempel kan en åtgärd i elproduktionssektorn påverka miljöeffekten av en åtgärd för att minska elanvändningen. Av detta skäl bör minskad elanvändning redovisas primärt som besparad el för att tydliggöra detta förhållande.

2.3 Grunder för åtgärdskostnadsberäkningar

Åtgärdskostnader för att genomföra en utsläppsreduktion är svåra att kvantifiera. Ofta inräknas bara tekniska kostnader som t.ex. investeringskostnader för tekniska åtgärder eller merkostnaden för bränslebyten. För åtgärder som handlar om beteendeförändringar är denna typ av kostnader ofta av mindre betydelse. Istället dominerar ökad tidsåtgång och andra uppoftningar, dessa kostnader är svårare att generellt kvantifiera och värdera. Om den fullständiga samhällsekonomiska kostnaden skall beräknas, vilket inte görs i denna rapport, behöver man kvantifiera och värdera effekterna på andra miljömål och övriga välfärdseffekter.

För flera åtgärder har vi varit tvungna att utnyttja externa källor där samtliga antaganden inte varit möjliga att kontrollera. Det innebär att det är svårt att skapa helt konsistenta kostnadsjämförelser. Resultaten från dessa källor har ändå bedömts vara av värde att inkludera i denna studie. Där så har varit möjligt har betydelsefulla skillnader i kostnadsantagandena beskrivits i rapporterna.

2.3.1 Åtgärdskostnadsberäkning för tekniska åtgärder

Kostnader för att genomföra utsläppsreducerande åtgärder beror av flera olika faktorer såsom investeringskostnader, investeringens livslängd, kalkylränta samt och bränslepriser.

Kostnadsberäkningen är i grunden en ekonomisk investeringskalkyl där de uppgifter som krävs är:

- *grundinvesteringen* (utbetalningar vid anskaffningen)
- *ekonomisk livslängd* i år
- och *restvärde* vid den ekonomiska livslängdens slut.
- *årlig förändring i driftskostnader*, det vill säga kostnader för t.ex. löner, energi och råvaror, som avvikelser från prognosen.

Kapitalkostnaden är i hög grad beroende av vilken *ränta* och vilken *ekonomisk livslängd* (tid för avskrivning) som används i kalkylen. Valet av ränta i investeringskalkyler påverkas av investeringens ekonomiska risk men också av förväntad avkastning av kapitalet vid andra investeringar. I en företagsekonomisk beräkning används normalt en högre kalkylränta och ibland kortare avskrivningstid än i en samhällsekonomisk beräkning. Anledningen är att ett företag använder den ränta som en alternativ användning av investeringskapitalet skulle ge i avkastning. Den kalkylränta som används i en samhällsekonomisk beräkning tar normalt endast hänsyn till lånekostnaderna. I en samhällsekonomisk kalkyl är syftet dessutom att så långt möjligt sätta ekonomiska värden på alla välfärdseffekter, oavsett vem de tillfaller. En företagsekonomisk kalkyl görs i ett snävare perspektiv. Sammantaget resulterar en företagsekonomisk investeringskalkyl oftast i högre åtgärds kostnader vilket är en förklaring till varför åtgärder som bedöms vara samhällsekonomiskt lönsamma inte alltid genomförs av företagen.

En annan osäkerhet är vilken livslängd som skall antas för investeringen. Ett alternativ är att använda sig av en teknisk-ekonomisk livslängd som bestäms av hur länge anläggningen kan användas med normalt underhåll. Livslängden för många anläggningar kan därutöver förlängas genom nyinvesteringar och anläggningarna kan komma att användas i flera decennier. Det finns å andra sidan en risk att en anläggning inte kan användas under hela den teknisk-ekonomiska livslängden på grund av till exempel förändring i produktion eller genom att förändrade energipriser gör anläggningen alltför dyr att använda. Det senare kan delvis motivera korta återbetalningstider.

Även kostnaden för olika fossila bränslen påverkar åtgärds kostnaden i stor grad. Bedömningar om framtida energipriser är behäftade med stora osäkerheter och priserna har under senare året rört sig mycket.

I de beräkningar som presenteras i analyserna använder sig av bränslekostnader exklusive skatter och avgifter. Inte heller inkluderas effekterna på bränsle- och el kostnader av systemet för handel med utsläppsrätter. Om en investering beskrivs utan inverkan av styrmedel så visar man den ”fundamentala” kostnaden.

För att möjliggöra *jämförbarhet* vid beräkningar av åtgärds kostnader bör valda ekonomiska nyckeltal vara *enhetliga*, exempelvis vald kalkylränta. I föreliggande studie används 4 % realränta där det har varit möjligt att påverka.

I de fall besparingen i driftskostnader överstiger annuiteten av investeringskostnaden blir den totala årliga åtgärds kostnaden negativ. I dessa fall är det inte meningsfullt att räkna besparingen i kr/ton eftersom denna siffra blir högre ju mindre utsläppseffekt åtgärden har.

2.3.2 Monetär värdering av andra konsekvenser

Det finns kostnader som inte kan kvantifieras genom ett marknadspris. I vissa fall kan till exempel en åtgärd uppfattas som en uppoffring även om den leder

till lägre investerings- och driftskostnader, eftersom värderingen av en produkt eller tjänst även innehåller andra faktorer som till exempel komfort, status eller vana. Så kan till exempel styrmedel som leder till att konsumenter köper fordon med låg bränsleförbrukning leda till lägre direkta kostnader för konsumenten men till en totalt sett uppfattad lägre konsumentnytta. På samma sätt skulle en sänkning av innetemperaturen leda till en direkt ekonomisk vinst för den boende men ändå kunna uppfattas som en uppoffring av de boende.

För att beräkna dessa kostnader kan andra värderingsmetoder användas. Det finns olika vägar att gå, värderingen kan baseras på uppvisade preferenser, som fångas i t.ex. efterfrågans priskänslighet genom elasticiteter, eller genom angivna preferenser som i t.ex. betalningsviljestudier. I denna studie har denna typ av skattningar endast i begränsad grad varit tillgängliga.

Det är i sammanhanget viktigt att notera att konsumenternas preferenser inte är statiska utan kan förändras över tiden liksom att de är beroende av andra personers konsumtionsmönster. Det kan till exempel uppfattas som en mindre uppoffring att skaffa en mindre bil om även grannarna gör det, eftersom uppoffringen relativt jämförelsegruppen blir mindre. Det finns till och med studier som indikerar att många människor är nöjdare med en låg lön som är högre än andra människors löner, än en betydligt högre lön om den är lägre än andra människors löner.⁹

2.3.3 Känslighetsanalys

Där så är möjligt görs känslighetsanalyser av särskilt osäkra parametrar i analysen. Det kan handla om t.ex. diskonteringsränta, livslängd, utsläppsreduktioner etc. I många fall är valet av dessa faktorer av stor betydelse för kostnadsberäkningen. Känslighetsanalyser görs såväl kvantitativt som kvalitativt.

2.3.4 Hantering av externa åtgärds-kostnadsberäkningar

I denna studie baseras åtgärds-kostnadsberäkningarna endast i begränsad grad på egna beräkningar utan i större grad på externa källor. Endast ett fåtal av dessa baserar sig exakt på de kriterier vi specificerat ovan.

I några fall har rådata funnits tillgängliga vilket gjort att vi relativt lätt har kunnat justera beräkningarna med avseende på till exempel ränta och bränslepriser.

På grund av de ibland skilda utgångspunkter som funnits i vårt underlagsmaterial är det viktigt att poängtera att vi främst ser använda potential- och kostnadsuppskattningarna som angivelser av storleksordningar.

⁹ Se t.ex. Luttmer (2005), Solnick och Hemenway (1997) och Carlsson m.fl. (2007) för en diskussion kring detta.

2.4 Avgränsningsfrågor

Det finns flera betydande avgränsningsproblem som uppkommer när utsläppsminskningar och åtgärds kostnader skall beräknas. Den kanske viktigaste är att försöka bestämma ett referensscenario som avgör vilka utsläpp eller kostnader som uppkommer om inte åtgärden vidtas. En annan viktig avgränsningsfråga är valet av systemgräns.

En generell utgångspunkt för åtgärder är att det är de verkliga förändringar som uppstår till följd av en åtgärd som bör ligga till grund för bedömningen av miljöeffekt och åtgärds kostnad. Detta talar för att man bör använda sig av ett marginalperspektiv när en åtgärd skall utvärderas. De frågor man bör ställa sig är vilken miljöpåverkan som försvinner och vilka merkostnader som uppkommer genom åtgärden. För åtgärder med viss tidsrymd är det inte enbart den momentana effekten och det befintliga systemet som skall hanteras utan vilka investeringar och långsiktiga driftsförändringar som uppkommer som en följd av åtgärden. Ett exempel kan vara om man väljer att åka kollektivt i stället för bil. Eftersom man stiger på en tur som ändå skulle gå är inverkan på miljön av kollektivresan minimal. På längre sikt kan dock en ytterligare resenär dock förväntas leda till att ytterligare turer sätts in, något som därför måste tas hänsyn till.

Åtgärder som leder till minskad elanvändning och ökad tillförsel av förnybar el i Sverige påverkar i huvudsak utsläppen av växthusgaser utanför Sveriges gränser eftersom den svenska elproduktionen endast i begränsad grad är baserad på fossila bränslen samtidigt som det finns en god överföringskapacitet till Danmark och Tyskland. Enligt flera studier ligger kol för närvarande på marginalen. Med ett längre perspektiv där marginaelen baserar sig på vilka produktionsanläggningar som måste tillföras på marginalen (på engelska build-margin) har man traditionellt räknat med naturgas. Det finns dock experter som bedömer att det är ny effektiv kolkondens som även på sikt kommer att tillföras på marginalen. Som redan nämnts är utgångspunkten för denna rapport utsläpp från Sverige medan en eleffektivisering sannolikt nästan enbart får en effekt på utsläppen i andra länder. I denna sektorsrapport redovisas eleffektivisering och eltillförsel där så är möjligt både i energitermer och som utsläppsminskningar baserat på antaganden om såväl kol som naturgas på marginalen.

Om motsvarande utgångspunkt skulle användas vid en analys av drivmedelsåtgärder skulle det påverka kalkylerna. Idag räknar man i allmänhet med bensin och diesel från konventionell olja som referensbränsle när ökad biodrivmedelsanvändning och energibesparingar omvandlas till utsläppsminskningar. Det är den huvudsakliga inriktningen även i denna studie. Det finns dock skäl att man snarare skulle räkna på bensin/diesel från icke konventionell olja såsom oljesand eller förgasat kol när man räknar på dessa effekter. Dessa bränslen kommer med stor sannolikhet att "ligga på marginalen" om inte efterfrågan på oljeprodukter begränsas på 10-15 års sikt. Enligt IEA (2006) bedöms cirka 5 procent av oljetillförseln att vara baserad på okonventionell olja 2015. Det innebär att utsläpps-

minskningarna av minskad oljeanvändning underskattas i denna studie, åtminstone om hänsyn tas till utsläpp som sker utanför Sverige.

Ett särskilt problem uppkommer när man skall värdera effektivisering av förnybara bränslen. Dessa ger mycket små direkta utsläppsminskningar eftersom dessa bedöms vara i princip koldioxidneutrala *under förutsättning att utvinningen sker utan att öka kolflödet från skogen till atmosfären*. I dag kan en minskad konsumtion av biobränslen i en applikation i viss grad antas leda till att en mindre mängd biobränslen utvinns och utsläppsvinsten av att minska biobränsleanvändningen i applikationen blir därmed begränsad. På lång sikt kan man dock förvänta en knapphet på bioenergi. Det innebär att en effektivisering av biobränsleanvändning i en applikation innebär att biobränslet kan användas i en annan applikation och där ersätta fossila bränslen. Det innebär att en minskad biobränsleanvändning på så sätt indirekt ger upphov till en reduktion av koldioxidutsläppen i ett vidare perspektiv. Effektiv biobränsleanvändning blir därmed lika viktig som effektiv fossilbränsleanvändning i ett vidare perspektiv. I ramen för kontrollstationen är detta synsätt bland annat inkluderat i analyser av styrmedel för transportsektorn.

När användningen av fossila bränslen effektiviseras är effekten på utsläppen direkt. En mer bränsleeffektiv bil ger mindre utsläpp per kilometer. Effekten på de totala utsläppen beror sedan på hur stor den så kallade reboundeffekten¹⁰ bedöms vara. Reboundeffekten innebär att de inbesparade resurserna delvis används till ytterligare utsläppsgenererande konsumtion varvid en del av utsläppsbesparingen äts upp. I fallet ovan kan effekten vara att en effektivare bil ger billigare rörliga kostnader vilket kan gynna ökat resande. Om även de totala kostnaderna blir lägre med energieffektivisering kan även resurser frigöras för annan konsumtion med sammanhängande utsläpp. Storleken på reboundeffekten beror dock på vilket styrmedel som använts för att initiera förändringen och fördelar sig olika över olika varugrupper som konsumeras, det vill säga en del av de lägre kostnaderna slår igenom som ökad efterfrågan på transporter en annan del märks på annan konsumtion.

¹⁰ På svenska kallas den ibland retureffekt eller rekyleffekt.

3 Transportsektorn

3.1 Sammanfattning - transportsektorn

Transportsektorn står för en stor och ökande andel av de svenska koldioxidutsläppen. År 2005 släppte sektorn ut drygt 20 Mton koldioxid och prognosen till 2020 pekar på fortsatt ökade utsläpp om inte nya styrmedel införs.

De nationella transporterna, som ingår i koldioxidmålet som det är formulerat idag, domineras helt av vägtransporterna. Bunkerbränslen för internationella transporter står för ytterligare utsläpp på ca. 9 Mton, varav sjöfarten släpper ut ca. 7 Mton och flyget ca. 2 Mton. Detta kapitel fokuserar dock på vägtransporterna.

Drivkrafterna till ökade utsläpp i transportsektorn är starka, till exempel finns en stark koppling till ekonomisk utveckling. Det finns dock flera åtgärder som är möjliga att vidta för att minska koldioxidutsläppen från transportsektorn. Potentialen och kostnaderna är ofta relativt svåra att uppskatta. Detta kapitel diskuterar åtgärdspotentialen och åtgärdskostnaden främst för vägtransporterna medan de styrmedel som krävs för att få åtgärderna till stånd diskuteras i en annan rapport inom Kontrollstation 2008. Åtgärder finns dock i samtliga transportslag och för både person- och godstransporter.

Personresor

Det finns redan idag en stor potential att energieffektivisera personbilar. En bränsleeffektivare bil släpper ut mindre koldioxid om den drivs av bensin eller diesel samt sparar på biobränslet så att det räcker längre om den drivs med biobränslen. Nya koncept som hybridbilar med ett större batteri som laddas via elnätet är också effektiva lösningar att vänta inom en snar framtid. Potentialen för effektivisering av personbilarna är mycket stor, minst 6 Mton koldioxid och kostnaden varierar från en ren vinst till relativt höga kostnader beroende på vilken åtgärd som avses.

Beteendeförändringar, som att hålla en lägre hastighet, har också stor potential. Minst 1,5 Mton som bedöms som samhällsekonomiskt lönsamma. Att effektivisera resandet genom t.ex. en bättre planering bedöms dock ha en mera begränsad potential. Öka samarbetet mellan olika transportslag så att överflyttning sker från bilresande eller att minska transportefterfrågan genom stadsplanering bedöms ha en stor framtida potential men som är svår att realisera och att uppskatta kostnaden för.

Godstransporter

Den tekniska potentialen för att reducera utsläppen från godstransporterna genom att effektivisera fordonen och sättet de används på ligger i storleksordningen 2,5 Mton till år 2020.

Den tekniska potentialen för utsläppsminskningar genom strukturella åtgärder är större på lång sikt, men genomförbarheten och kostnader är avsevärt svårare att uppskatta. Idag är vägtransporternas flexibilitet och tidseffektivitet vida överlägsen järnvägen. I syfte att skapa incitament till ett ökat samarbete mellan transportslagen krävs ökad effektivitet i godstransporter på järnväg. Därutöver finns en potential i minskad efterfrågan på godstransporter, det kan t.ex. handla om dematerialisering av produkter och ökad återanvändning

Biodrivmedel

Genom att blanda in 5-10 % biobränslen i bensin och diesel erhålles en snabb minskning av de fossila koldioxidutsläppen. Det går också att byta bränslen helt. Potentialen är mycket stor men tillgången på biobränslen är trots allt begränsad eftersom den totala markarealen skall räcka till andra ändamål som produktion av mat, foder och fiber. Samtidigt skall övriga miljömål också uppfyllas. Kostnaden är generellt sett större för att förädla biobränsle till biodrivmedel än att använda den för energjäändamål direkt. Att öka andelen biobränslen i transportsektorn är dock ett sätt att bryta det närmast totala oljeberoendet i sektorn.

Generellt för åtgärderna i transportsektorn gäller också att:

Det krävs internationellt samarbete för att få de flesta åtgärderna till stånd eftersom sektorn är genuint internationell, både genom fordons- och bränsleindustrin samt att handeln och resandet är globalt.

Det finns inte en ensam åtgärd som minskar transportsektorns utsläpp i tillräcklig omfattning utan arbete krävs för att försöka genomföra flera olika slags åtgärder samtidigt. Åtgärderna är ofta komplementära som t.ex. att en biodrivmedelsatsning blir än effektivare i energieffektiva fordon.

För att de flesta åtgärderna skall realiseras krävs kraftiga styrmedel (skatter, regler, subventioner etc.) eftersom drivkrafterna som leder mot ökade utsläpp i transportsektorn är mycket starka.

Svårt att uppskatta kostnader och potentialer.

Den tekniska potentialen för att t.ex. energieffektivisera fordon är hög. Kostnaden för att göra det kan rent av vara negativ, vilket innebär att det är en finansiell vinst att byta till en energieffektivare och billigare bil. Men i den enskildes beslutsunderlag tas också förhållanden som förändrad bekvämlighet, status eller upplevd säkerhet med. Den faktiska kostnaden, om dessa förhållanden värderas i pengar, är därför större än den rent tekniska kostnaden. Den faktiska potentialen för olika åtgärder blir då mindre än en rent teknisk potential.

Å andra sidan beror många av dessa mera svårfångade kostnadsuppskattningar på preferenser och värderingar som kan ändras över tiden. Det skulle kunna tänkas att med ett ökat klimatintresse hos allmänheten så skulle värderingar kunna skifta till förmån för mera klimateffektiva åtgärder. Om t.ex. större bilar eller frekventa flygresor blev socialt mindre acceptabla, genom att miljöhänsynen ökade i människors valsituationer, så skulle värderingen av åtgärder i transportsektorn påverkas starkt. Därför kan inte enbart dagens värderingar styra kostnadsuppskattningarna och val mellan åtgärder. Åtgärdskostnaden är naturligtvis också beroende av oljeprisutvecklingen och kostnaden för alternativa tekniker. Den uppskattade marginalkostnaden kan därför inte vara den enda prioriteringsgrunden för val mellan olika åtgärder och styrmedel.

Hur stora förändringar av beteendet (till exempel val av fordon, körstil och körsträcka) en förändring av de ekonomiska incitamenten ger beror på preferenser, d.v.s. hur högt man värderar sitt nuvarande beteende. Fordonet i sig representerar för individen såväl flexibel förflyttning som varierande nivå av status och bekvämlighet. Körstilen påverkas också av uppfattning om hur man bör köra liksom när det är acceptabelt att ta bilen eller hur långt man kan tänka sig att gå eller cykla. Uppfattningar av dessa slag påverkar välfärdskostnaden av förändrat beteende och därigenom respons på förändringar i ekonomiska incitament.

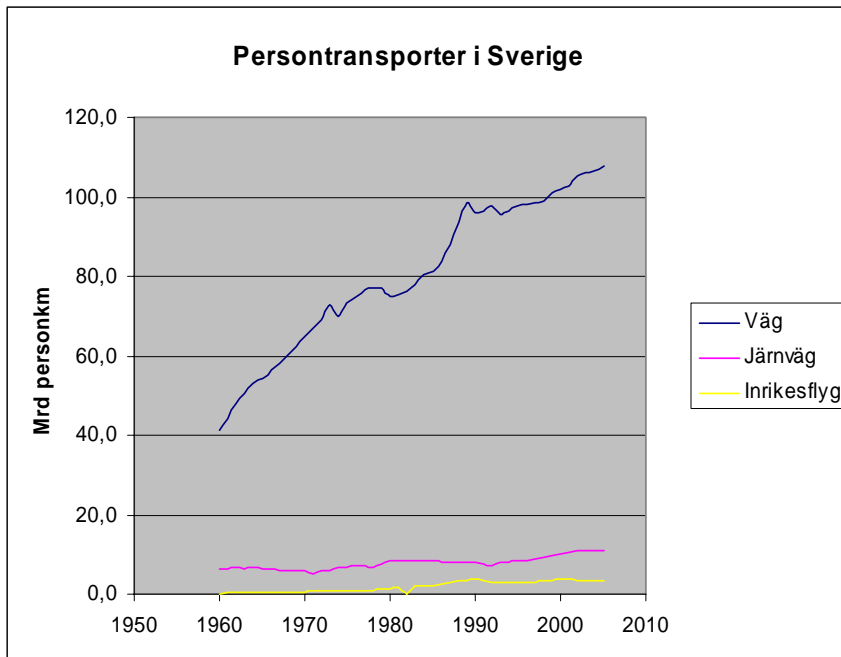
Preferenser är inte stabila över tiden. Hur de förändras det närmaste decenniet är svårt att sia om. De idag tillgängliga elasticiteterna baseras på en historisk anpassning till tidigare förändringar i incitament. Att använda dessa historiska data för att skatta kostnader runt 2020, skulle kunna betyda att 20 år gamla värderingar kommer att användas för 2020. Det skulle vara orimligt, men samtidigt finns heller ingen kunskap om hur preferenserna kommer att förändras till följd av den ökade medvetenheten om klimatproblematiken.

3.2 Transportsektorn – struktur, trender och prognostiserad utveckling

Det moderna samhället är beroende av effektiva personresor och godstransporter både i lokal och global skala. Den ökande mobiliteten har blivit en integrerad del av den sociala och ekonomiska utvecklingen.

3.2.1 Personresor

Resandet i Sverige domineras av personbilen som har haft en mycket kraftig ökning sedan 1950-talet. Ökningen av personbilsresandet bara under tioårsperioden 1994-2004 är ungefär lika stor som det totala resandet med järnväg och flyg. Inrikesflyget har legat jämförelsevis konstant under de åren medan den relativa ökningen för järnvägen varit betydande. När resandet, som i Figur 7, är uttryckt som personkilometer syns inte gång och cykel men om man jämför antalet resor står gång och cykel för knappt 30 %.



Figur 7 Inrikes persontransportarbete. Miljarder personkilometer¹¹.

Resor till arbete och skola samt till olika fritidsaktiviteter dominerar. Enligt den senast publicerade resvaneundersökningen¹² gjorde svenskarna det året 5 miljarder resor, varav 55 procent med bil. Hälften av antalet resor var resor till eller från arbete, skola eller tjänsteärenden. För dessa användes bilen i 61 % av fallen. I genomsnitt gjordes 1,7 resor per person (6–84 år) och dag.

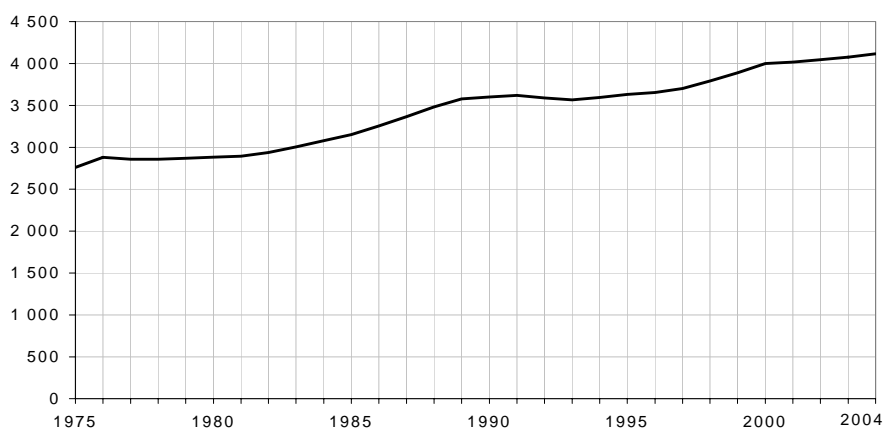
I genomsnitt reste svenskarna 44 km per person och dag, varav 29 km med bil, och nästan hälften av reslängden var fritidsresande. Nära 90 procent av de längsta arbetsresorna, över 50 km, företogs med bil. Att gå eller cykla var det mest använda färd sättet vid något mer än hälften av de kortaste arbetsresorna, de under 5 km.

Männen reste i genomsnitt längre än kvinnorna. 83 procent av befolkningen hade tillgång till bil. Störst var andelen bland samboende med barn där 96 procent hade tillgång till bil.

Bilresandet ökar med antalet bilar. En ökad disponibel inkomst ger också utrymme att för fler att äga bil och resa mer. I Sverige har bilinnehavet växt i takt med välfärdsutvecklingen de senaste 30 åren. Det totala antalet personbilar i trafik har ökat från ca. 2,8 miljoner år 1975 till drygt 4 miljoner år 2004. Bilinnehavet har växt från 300 till drygt 450 bilar per 1 000 invånare. I ett europeiskt perspektiv är detta ingen hög siffra. Genomsnittet i EU15 var 495 bilar per 1 000 invånare år 2002.

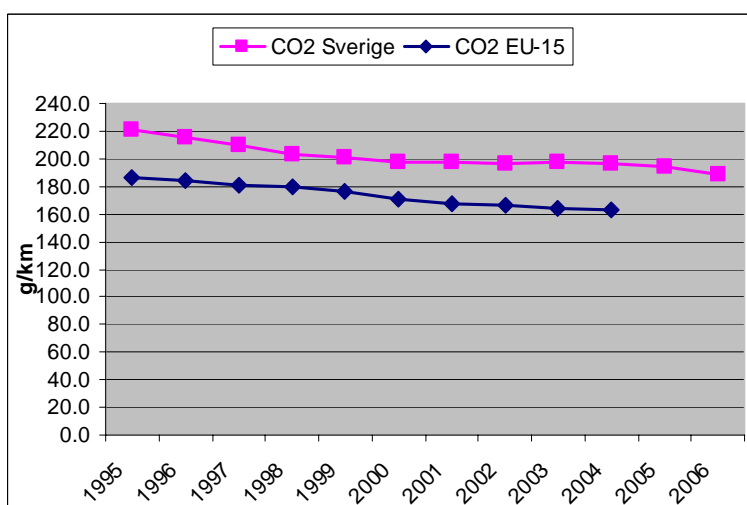
¹¹ SIKA (2004).

¹² SCB och SIKA (2001).



Figur 8 Antal personbilar i Sverige, tusental¹³

Personbilarna har blivit energieffektivare men trafikarbetet ökar varför de totala koldioxidutsläppen från bilanvändningen i stort legat still de senaste åren. Potentialen att sänka energianvändningen och koldioxidutsläppen från bilar i Sverige är hög. I jämförelse med genomsnittet i Europa har koldioxidutsläppen från de nya bilar som tillförts bilparken varit 20-25 % högre i Sverige de senaste 10 åren.



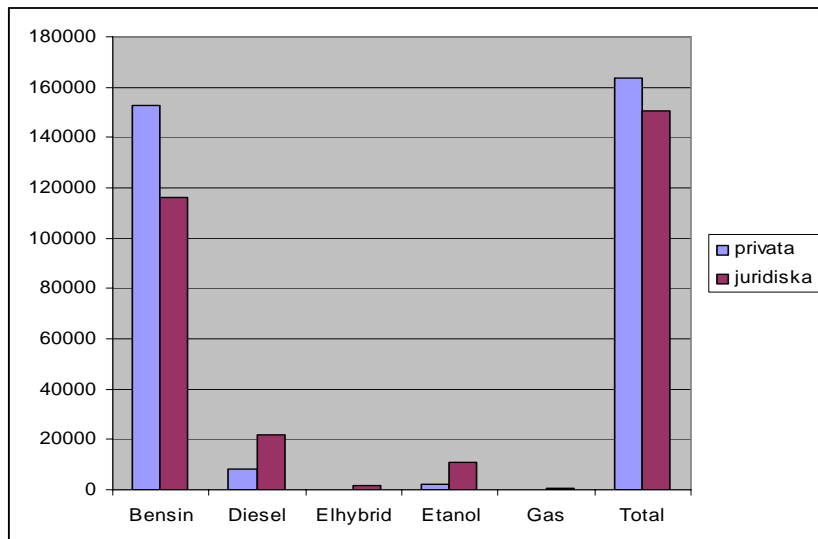
Figur 9 Genomsnittligt koldioxidutsläpp från nya bilar i Sverige och EU-15¹⁴

Till viss del kan de höga koldioxidutsläppen förklaras av en låg andel dieslbilar. Koldioxidutsläppen från dieselmotortekniken är ca. 20 % lägre jämfört med bensinmotorn. Dieselandelen var ca. 5 % i början av 2000-talet för att därefter ökat till 10 % år 2005 och 20 % år 2006 av nybilsförsäljningen. Under samma period ökade försäljningen av etanolbilar från ca. 1 % till 4 % respektive drygt 10 % år 2006. Elhybriderna var ca. 1 %. Den största orsaken till höga koldioxidutsläpp från bilarna i Sverige är att de är tyngre och motorstarkare än i övriga Europa.

¹³ Sika (2007).

¹⁴ EU KOM (2006).

I Sverige görs nästan hälften av nybilsköpen av juridiska personer. I dessa inköp av juridiska personer ingår både rena tjänstebilar och förmånsbilar. Att en stor andel nya bilar köps av juridiska personer kan vara en förklaringsfaktor till att de är större, motorstarkare och släpper ut mer koldioxid. Nuvarande regler för förmånsbilar sänker prisets betydelse för de löpande kostnaderna för bilför-månstagarna jämfört med privata köpare.

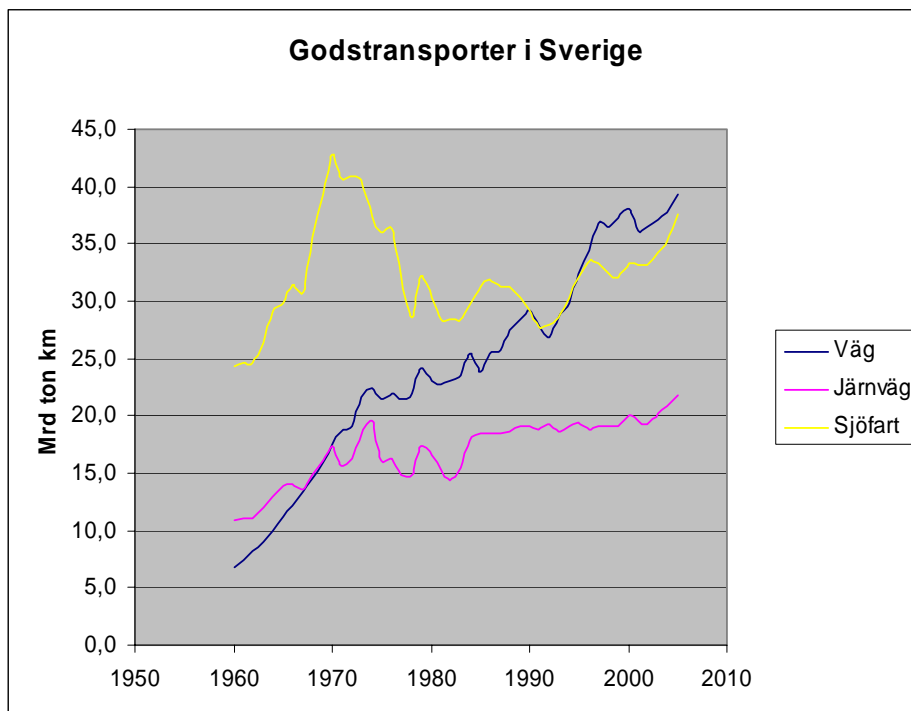


Figur 10 Nybilsköp i Sverige 2005¹⁵

3.2.2 Godstransporter

Godstranssportarbetet är mera jämnt fördelat mellan olika transportslag än personresandet. Den helt dominerande ökningen under de senaste 50 åren har dock lastbilstrafiken stått för.

¹⁵ Naturvårdsverket (2007a).



Figur 11 Inrikes godstransportarbete, miljarder tonkilometer¹⁶

Energianvändningen för godstransporter kan sägas bero på tre faktorer; den ekonomiska utvecklingen, transportintensiteten i ekonomin och energiintensiteten i transporterna¹⁷. Under 50- och 60-talen ökade godstransporterna i ungefär samma takt som BNP, därefter har ökningstakten mattats av något¹⁸. Dock ökar den totala energianvändningen för och utsläppen av koldioxid från godstransporter i förhållande till ekonomisk tillväxt¹⁹. Sedan början av 70-talet har godstransportarbetet i Sverige ökat med ca. 30 procent, under samma tidsperiod ökade godstransporter längre än 10 mil på järnväg med 10 procent och med lastbil med 30 procent²⁰. Järnvägen förlorar alltså marknadsandelar till vägtransporterna.

Trenden är att transportvolymerna minskar medan godstransporternas längd ökar. Gods transporteras allt längre sträckor, vilket beror dels på att tillverkning centraliseras allt mer och sker i storskalig produktion dels att produktmarknaderna blir allt större. Varuproduktionen är idag specialiserad med hög grad av arbetsdelning, som betyder att gods flyttas runt mellan olika produktionsställen. Kostnader för transporter är idag låga och de ekonomiska fördelarna med att centralisera produktionen är ofta mycket större än själva transportkostnaden.²¹

¹⁶ SIKA (2004).

¹⁷ Åkerman & Hedberg (2005).

¹⁸ Elforsk (2003), Åkerman & Hedberg (2005).

¹⁹ Naturvårdsverket (2006).

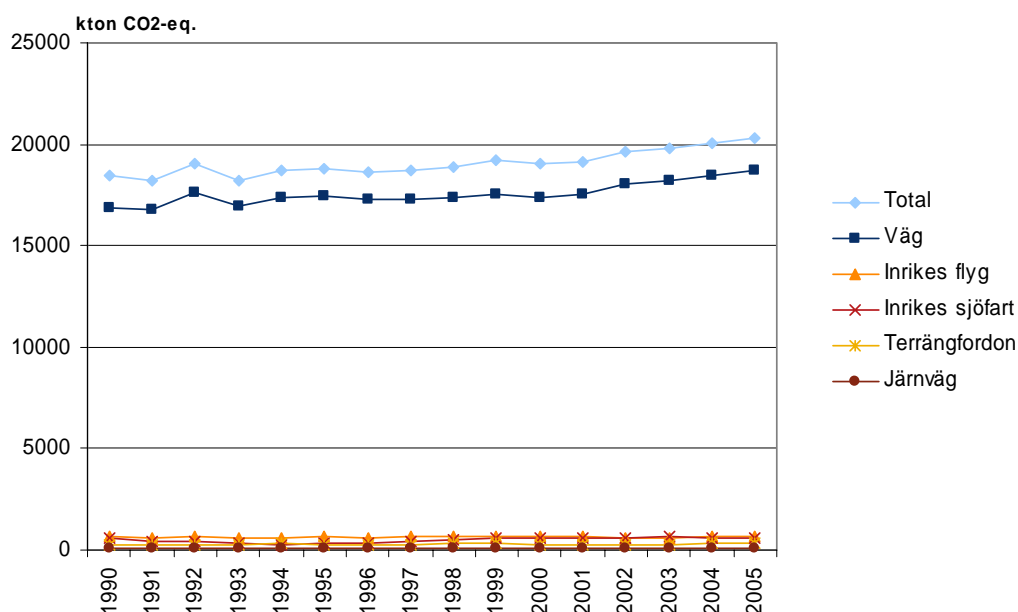
²⁰ SOU 2003:104.

²¹ Andersson (2005), Wallgren (2000).

Den svenska flottan av lastbilar tyngre än 3,5 ton har till antalet inte förändrats sedan mitten av 70-talet, dock märks en förskjutning mot fordon med högre totalvikt²².

3.2.3 Koldioxidutsläpp

Transportsystemet är idag helt beroende av fossila bränslen och domineras av bensen- och dieseldrivna person- och lastbilar. Koldioxid är därför den viktigaste växthusgasen från denna sektor. Utsläppen har ökat i takt med ökade transportvolymerna trots en effektivisering av fordonen. De totala utsläppen 2005 från transportsektorn var 20,3 Mton koldioxidekvivalenter.



Figur 12 Utsläpp av växthusgaser från transportsektorn i Sverige, kton koldioxid-ekvivalenter²³

Persontransporterna står för ungefär två tredjedelar av transportsektorns utsläpp och har varit relativt konstanta de senaste 15 åren. Det är godstransporterna med lastbil som står för ökningen.

Den tunga lastbilstrafiken svarar för en växande miljöpåverkan. Och ökningen är dramatisk, både i procent och i absoluta tal - plus 35 procent sedan basåret 1990 till fyra miljoner ton koldioxid för år 2006. Tunga lastbilar står för den största delen av transportsektorns ökade utsläpp, plus en miljon ton, följt av lätta lastbilar med 0,4 miljoner ton.

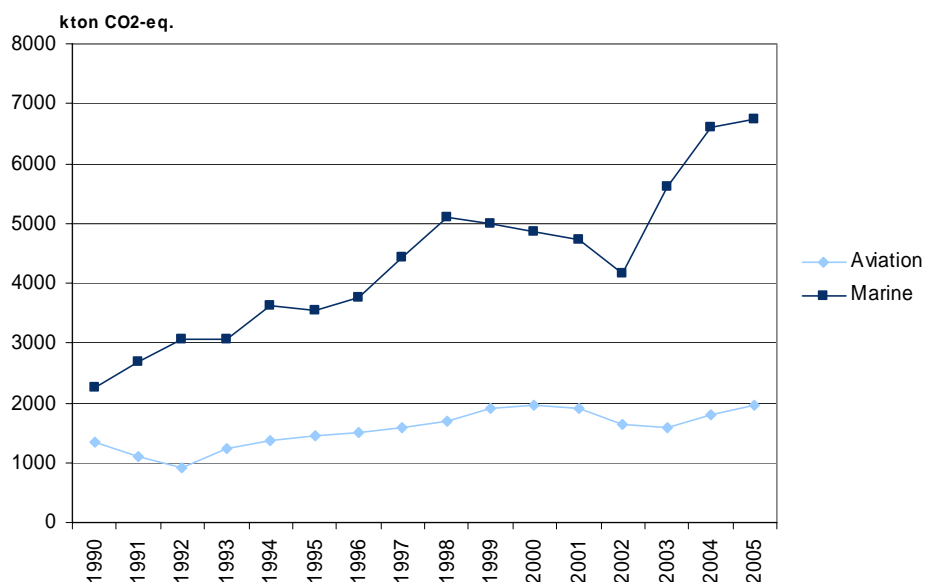
²² Andersson (2005).

²³ Naturvårdsverket (2007b).

Utsläpp från internationella transporter

Det svenska klimatmålet och internationella överenskommelser som Kyoto-avtalet fokuserar enbart på inrikestransporter. Utrikestransporterna glöms därför ibland bort trots att de står för en stor och ökande del av de samlade transporternas klimatpåverkan. Sjöfart som bunkrar bränsle i Sverige motsvarande utsläpp på knappt 7 Mton och flyget 2 Mton koldioxid enligt Figur 13 nedan. Tillsammans motsvarar det nästan hälften av utsläppen för inrikestransporterna i Sverige.

Flygets klimatpåverkan beror inte heller bara på utsläppen av koldioxid. Andra effekter på hög höjd som t.ex. utsläpp av vattenånga och molnbildning ökar växthuseffekten drastiskt. Osäkerheten är stor, men man brukar räkna med en fördubbling.



Figur 13 Utsläpp av växthusgaser från fartyg och flygplan som bunkrat i Sverige, kton koldioxidekvivalenter²⁴

Ett annat perspektiv på transporternas utsläpp och energianvändning är att även inkludera fordonens, bränslets och infrastrukturens energianvändning under hela livscykeln. Stål- och cementtillverkning för infrastrukturen, fläktar i tunnlar och belysningen på gatorna använder t.ex. betydande energimängder. Detta bör tas i beaktande vid jämförelse mellan olika alternativ²⁵.

3.2.4 Trender och drivkrafter

Det finns ett antal drivkrafter som tydligare än andra påverkat transportsektorns utveckling under de senaste 50-åren. Här är ett urval av viktiga trender och drivkrafter.

²⁴ Naturvårdsverket (2007b).

²⁵ Jonsson, (2005). Se även projektet Joulesave, www.nra.ie.

Ekonomisk utveckling/tillväxt och transporter är starkt kopplade

Transporterna är en del av det moderna samhället. Det är svårt att tänka sig en vardag utan förflyttningar av personer och saker. I takt med att ekonomin har växt och specialiserats har därför också transporterna ökat. Vad som är orsak och verkan är svårt att avgöra eftersom transportsektorn är så integrerad i ekonomin. Det har förmodligen varit ett växelspel som skiftat under olika perioder. Resultatet kan mätas som en stark koppling mellan BNP och ton- respektive personkm. Att bryta kopplingen, s.k. decoupling, är ett politiskt mål för bl.a. EUs transportpolitik²⁶.

Globalisering

Varuhandeln är idag global och många företag har sin tillverkning spridd över flera kontinenter. Löneskillnaderna, men även skillnaden i skattestruktur, mellan olika länder är den främsta orsaken till att företag sprider sin tillverkning på olika platser. Större företag har t.ex. möjlighet att flytta vinster mellan länder genom att producera komponenter på en plats och slutmontera på en annan. Godstransporterna är billiga och sällan avgörande för beslut om lokalisering av tillverkningen. Transportens andel av produkternas slutpris rör sig ofta på ett par procent med undantag för mycket billiga råvaror. Detta har lett till mycket kraftigt ökade godstransporter globalt, framför allt containertrafiken till havs.

Även personresandet genomgår en globalisering. Semesterresorna går längre och längre bort. Thailand har blivit svenskarnas nya Mallorca och de stora städerna i Europa har blivit destinationer för veckoslutsresor. Det är framförallt det s.k. lågprisflyget som har möjliggjort att fler och fler har råd att flyga. Kostnaderna är låga genom bl.a. ett subventionerat lågprisflyg och obeskattat flygbränsle. Ökningen har därför varit snabb.

Positiva feedbacks – självförstärkande spiraler

Transportsektorn är ett komplext dynamiskt system med många återkopplingar. Ibland kan förändringar förstärka ett förhållande i en spiralformad utveckling²⁷. Ett enkelt exempel är när föräldrar inte vågar låta sina barn gå eller cykla till skolan för att det är så mycket bilar utanför. Istället skjutsar de sina barn i bilen och gör därmed situationen än mera otrygg för andra.

Ett annat exempel är valet mellan egen bil och buss i en stad med trängselproblem. I egen bil bidrar en person själv tydligt till trängseln. Byter individen däremot till buss minskar trängseln och både bussar och bilar kommer lite snabbare fram. Det skulle kunna bli en positiv spiral. Problemet är dock att det för individen ofta är lite snabbare att ta bilen, särskilt om många åker kollektivt och det blivit glesare trafik. Det skulle alltså vara bäst för alla med ett samarbete där alla åkte kollektivt medan det för individen ofta lönar sig att bryta samarbetet. Situationen kallas ett socialt dilemma.

²⁶ EU KOM (2001).

²⁷ Dreborg och Jonsson (2007).

De självförstärkande processerna ger resultat även på systemnivå. Gunnar Falkenmark går i en ny bok igenom järnvägens och bilismens framväxt med hjälp av teorierna om stigberoende och stora tekniska system²⁸. Han finner att järnvägen under perioden 1850-1900, då den expanderade kraftigt, visat tydliga tecken på självförstärkande processer och samtidigt fått politiskt stöd. För bilismen finns flera självförstärkande processer efter starten 1909. Bilens olika attraktiva egenskaper och dess värde som prestige- och frihetssymbol ökade snabbt dess popularitet. Bilen har en oöverträffad flexibilitet som transportslag. Även på godssidan har lastbilen dominerat som flexibel och billig. Hastighet och effektivitet har varit nyckelord i det moderna samhället. Ständiga investeringar i nya vägar har ytterligare skjutit fart på bilismen och den expanderade på järnvägens bekostnad. Utglesningen av städer och regionförstoring är andra exempel på självförstärkande processer som ökar bilresandet. Det politiska systemet har också stött bilen i takt med att bilindustrin fått större betydelse och andelen väljare som har bil ökat.

Konkurrensen i bilbranschen

Bilar säljs på en global marknad med hård konkurrens där tillverkarna bevakar varandra. Marknadsföringen är omfattande för att skapa en image kring produkten och tillverkarna visar upp sina fordon på internationella mässor för att attrahera journalister och köpare. Det är främst prestanda, acceleration och toppfart, samt olika extrautrustning som används som framgångsrika argument för att locka köpare. Det har skapat en slags kapplöpning om hästkrafter som gett marknaden familjebilar med toppfarter på dubbla den högst tillåtna hastigheten och en acceleration tidigare endast förbehållet sportbilar. Dessa allt tyngre bilar förbrukar naturligtvis mer bränsle än om de optimerats för att bara leverera transporttjänsten.

Till saken hör också att biltillverkarna gör större vinster på stora bilar och företag som producerar relativt små serier har därför tillverkat stora bilar för att kunna överleva i den internationella konkurrensen. Eftersom bilföretag ofta har en stark ställning på hemmamarknaden har det lett till att Sverige har den mest bränsleförbrukande bilparken i Europa. En bidragande orsak till detta har också systemen för tjänstebilar och förmånsbilar varit som lett till att många konsumenter valt större fordon än vad som skulle varit fallet om de själva skulle stå för drivmedelskostnaderna.

Bilbranschen och oljeindustrin har ett betydande inflytande internationellt. Det är värt att notera att bland världens tio största bolag 2004 fanns fyra biltillverkare (GM, DaimlerBenz, Toyota och Ford) samt fyra oljebolag (BP, Exxon Mobile, Shell och Total).

²⁸ Falkenmark (2006).

Energieffektivisering och reboundeffekter

Drivmedelspriserna och den internationella konkurrensen har drivit på en imponerande teknikutveckling. Biltillverkarna gör idag motorer som får ut väsentligt fler hästkrafter från samma mängd bränsle än tidigare.

De traditionella bensin- och dieselmotorerna har förbättrats samtidigt som det fortfarande finns stora potentialer att ta av. Nya tekniksteg som hybridteknik eller nya drivlinor har också en stor potential. För tunga fordon har dock bränsleeffektiviseringen i princip avstannat sedan början av 1990-talet²⁹.

Vid en effektivisering finns ofta en risk att insparade resurser används för att öka volymen på aktiviteten. Detta har skett både på fordons- och systemnivå i transportsektorn. I takt med att motorerna har blivit allt effektivare på att utnyttja bränslet har bilarna blivit större, starkare och tyngre. Istället för en kraftigt minskad bränsleförbrukning har bilarna visat upp en förhållandevis konstant förbrukning. Samma rekyleffekt kan även skönjas vid utnyttjandet av bilen. Om en person byter till en bränslesnålare bil, t.ex. från bensin till diesel, finns det stor risk att han eller hon utnyttjar de minskade kostnaderna per kilometer till att använda bilen mer eller öka annan miljöpåverkande konsumtion..

De fossila bränslena dominerar, men biobränslena kommer

Under 2006 utgjorde förnybara drivmedel ca. 3,1 % av användningen av drivmedel i Sverige. Inom EU styrs införandet av biodrivmedel i biodrivmedelsdirektivet³⁰, där icke bindande krav är att biodrivmedelsanvändningen i unionen skall vara 5,75 % energiandel år 2010. EU kommissionen har föreslagit ett bindande mål om 10 % energiandel biodrivmedel i transportsektorn till 2020³¹, samt att förslag på nytt direktiv om förnybar energi kommer i slutet av 2007.

Drivkrafter bakom utvecklingen i EU är både klimatskäl och att försöka minska EUs beroende av importerad energi. Jordbrukspolitiken som förs inom EU är också en mycket stark drivkraft.

Kostnaderna för framställningen av biodrivmedel är högre än för bensin och diesel och den existerande skattenedsättningen i Sverige för biodrivmedel kompenserar detta. I Sverige står etanol för den största andelen biodrivmedel. Importerad etanol utgjorde 2006 ca. fyra femtedelar av Sveriges totala användning av biodrivmedel³², och importen kommer mestadels från Brasilien, men vin- och spannmålsetanol från Europa förekommer också. Den 1:a januari 2006 ändrades hur tull på etanol appliceras; för att få tillgång till skattenedsättningen måste det betalas tull om 1,80 kr/liter för importerad etanol som används för låginblandning i bensin. Trots att import från länder utanför EU blev betydligt dyrare förekommer det fortfarande i stor utsträckning. För etanol till E85 betalas tull

²⁹ Elforsk (2005).

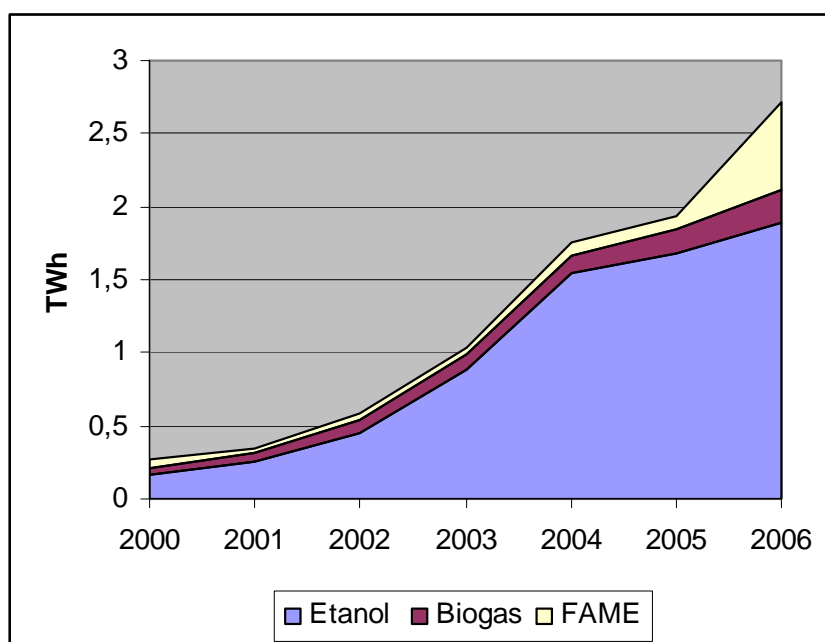
³⁰ Europaparlamentets och rådets direktiv 2003/30/EG.

³¹ Europeiska kommissionen (2006).

³² Energimyndigheten (2006a).

för 6,5 % av värdet, vilket innebär att det fortfarande kan vara lönsamt att importera etanol från Brasilien till E85.

Den stora volymen biodrivmedel används som låginblandning i fossila bränslen. Exempelvis användes 2006 ca 77 % av den förbrukade etanolen som låginblandning, resten användes som etanol i E85 (17%) och till buss (ca 6%). I Figur 14 ses utvecklingen av användning av biodrivmedel i Sverige. Den stora ökningen av FAME under 2006 beror på att det blev tillåtet under året att öka låginblandningen av FAME i diesel från 2 % till 5 % och fortfarande vara miljöklass 1.



Figur 14 Användning av biodrivmedel i Sverige mellan 2000 och 2006³³

Det finns alltså mycket starka drivkrafter både bakom och inom transportsektorn. Transporterna hjälper till att tillgodose individuella och samhälleliga behov och önskningsar. Så länge uppoffringarna i form av kapital, tid eller bekvämlighet för att resa och transportera gods är små kommer efterfrågan sannolikt att fortsätta öka i framtiden.

3.2.5 Prognos

Inom arbetet med Kontrollstation 2008 har en prognos över framtida utsläpp till 2020 utförts. Prognosen utgår från befintliga styrmedel och diesel- och bensinpriser antas utvecklas enligt Tabell 1.

³³ Energimyndigheten (2006b).

Tabell 1 Använda bränslepriser i prognosen, kr/liter, inkl. skatter (2004 års priser)

	2004	2015	2025
Bensin	10,40	11,56	12,25
Diesel MK 1	8,60	9,76	10,12

Prognosen visar att utsläppen från inrikes transporter beräknas öka med ca. 9 % under perioden 1990-2010 och med 18 % mellan 1990 och 2020. Koldioxid står för ca. 95 % av utsläppen från inrikes transporter. Utsläppen av metan och dikväveoxid förväntas minska till 2020 men dessa utsläpp utgör en mycket liten andel av de totala utsläppen från denna sektor.

Tabell 2 Historiska och prognostiserade utsläpp från transportsektorn (kton CO2-ekvivalenter)

	1990	2005	2010	2015	2020	1990-2010	1990-2015	1990-2020
Koldioxid	18174	20041	19810	20760	21580	9 %	14 %	19 %
Metan	105	38	29	20	20	-71 %	-81 %	-81 %
Dikväveoxid	160	196	160	150	130	0 %	-6 %	-19 %
Totalt	18439	20275	20000	20930	21730	8 %	14 %	18 %

Vägrafiken står för den största delen av utsläppen och den totala ökningen av utsläppen beror främst på en ökad industriproduktion i de transportintensiva branscherna med ökande tunga transporter. Även ökad andel lätta lastbilar, personbilar som drivs med diesel och måttliga ökningar av bränslepriset leder till att dieselanvändningen ökar under perioden 2004-2020. Användningen av diesel bedöms öka med 19 % under perioden 2004-2010 och med 36 % under perioden 2010-2020. Användningen av bensin bedöms minska med 10 % under perioden 2004-2010. Förklaringar till den minskade efterfrågan på bensin är bl.a. att bensinpriset stiger och att andelen bensindrivna personbilar minskar.

Tabell 3 Historiska och prognostiserade utsläpp av växthusgaser från olika transportslag (kton CO2-ekvivalenter)

	1990	2005	2010	2015	2020	1990-2010	1990-2015	1990-2020
Vägrafik	16829	18675	18440	19350	20120	10 %	15 %	20 %
Flyg	688	674	650	640	630	-6 %	-7 %	-8 %
Sjöfart	549	546	540	580	630	-2 %	6 %	15 %
Bantrafik	116	74	70	60	50	-40 %	-48 %	-57 %
Övrigt	258	305	300	300	300	16 %	16 %	16 %

Användningen av biodrivmedel antas öka betydligt. I och med att det är befintliga styrmedel som är utgångspunkten i prognosen är skattebefrielsen med som antagande. En stor ökning står inblandning av FAME i diesel för. Prognosen bedömer att biogas och naturgas kommer att öka, och användas främst för busar och dyl. I takt med att det systemet byggas ut, kommer även fler personbilar att drivas med biogas. Det kan noteras att enligt prognosen kommer biodrivmedelsanvändningen inte att uppnå de bindande mål om 10 % energiandel av biodrivmedel som föreslås inom EU.

Tabell 4 Transportsektorns energianvändning 1990, 2004 samt prognos för år 2015 samt 2025

Bränsle	Enhet	1990	2004	2015	2025
<i>Inrikes transporter</i>					
Bensin	1 000 m ³	5 589	5 439	4 618	4 099
varav låginblandad etanol	1 000 m ³	0	235	212	188
Diesel	1 000 m ³	2 052	3 387	4 789	6 119
varav låginblandad FAME		0	9	223	285
Eo1	1 000 m ³	96	78	83	93
Eo2-5	1 000 m ³	64	75	68	88
Flygbränsle	1 000 m ³	320	283	270	273
EI	GWh	2 475	2 990	3 583	4 070
Etanol	1 000 m ³	0	25	151	409
Ren FAME	1 000 m ³	0	1	4	9
Naturgas	milj. m ³	0	20	45	73
Biogas	milj. m ³	0	13	99	204
Summa	TWh	76,2	90,0	98,8	111,1
<i>Utrikes transporter</i>					
Diesel	1 000 m ³	7	59	45	38
Eo1	1 000 m ³	172	113	119	139
Eo2-5	1 000 m ³	568	1 967	2 659	3 414
Flygbränsle	1 000 m ³	621	766	958	1 162
Summa	TWh	13,9	29,9	39,0	49,0

3.3 Inledning om åtgärdsalternativ och kostnader

Efter en övergripande inledning i detta kapitel till diskussionen om åtgärdsalternativ och kostnader följer avsnitt med åtgärdena för personresor, gods-transporter och biobränslen som berör både person- och godstrafiken återfinns därefter.

3.3.1 Åtgärdsalternativ från fordon till transportefterfrågan

Det finns flera olika slags åtgärder för att minska transporternas energianvändning och koldioxidutsläpp. I detta kapitel diskuteras följande huvudkategorier av åtgärder, där listan går från åtgärder som är generellt lättare till de som är svårare att implementera.

Effektivisera fordon och farkoster [kWh per fordonskm]

Det finns en mängd tekniska åtgärder som kan minska bränsleförbrukningen i fordon, t.ex. utveckling av motorer, lägre vikt, bättre aerodynamiska egenskaper, mindre rullmotstånd och effektivare kretsar. Andra åtgärder för att få energianvändningen per fordonskilometer att bli mindre är att konsumenter väljer bränslesnålare fordonsmodeller och att körsättet anpassas för att bli så bränslesnålt som möjligt.

Öka andelen alternativa bränslen [CO₂ per fordonskm]

Transportsektorn domineras idag av de fossila bränslena bensin och diesel. Alternativa bränslen som etanol, biogas eller RME börjar ta andelar. Detta minskar koldioxidutsläppen per fordonskm, men inte automatiskt energianvändningen per fordonskm. Eftersom tillgången på förnybar energi är begränsad är det viktigt med energieffektivisering även vid ett byte till alternativa bränslen. De alternativa bränslena räcker då längre och till fler. Andra skäl att satsa på biodrivmedel kan var försörjningstrygghet då transportsektorn idag är nästan helt oljeberoende.

Utnyttja transportslagen effektivare [fordonskm per person- eller tonkm]

Genom att t.ex. öka beläggningen på fordonet eller planera rutten bättre kan antalet fordonskm per person- eller tonkm minska.

Öka samarbetet mellan transportslagen [kWh per person- eller tonkm]

Transportslagen har olika energianvändning per person- eller tonkm. Om valmöjligheten för hela eller delar av en resa eller transport finns mellan olika transportslag kan utsläppen minska om ett miljövänligare transportslag väljs.

Minska efterfrågan på transporter [person- eller tonkm per capita eller BNP].

Syftet med en transport är oftast att nå tillgänglighet till varor och tjänster mer än mobiliteten i sig. Kan man organisera samhället så att denna tillgänglighet erhålles utan lika frekventa eller långa fysiska förflyttningar uppnås samma tillgänglighet med mindre transportarbete. Distansarbete eller hemkörning av varor är två enkla exempel på minskad efterfrågan av fysiska transporter. Det kan också handla om en ändrad struktur av varor mot ett lägre materialinnehåll och

att ändra konsumtionens sammansättning till att innehålla en större andel tjänster eller mindre transportintensiva varor.

3.3.2 Hur beräknas potentialen och kostnaden för att uppnå den?

I detta kapitel diskuteras potentialer och kostnader för olika åtgärder i transportsektorn. Potentialen och kostnaden beror på en mängd antaganden och förutsättningar som också varierar på kort och lång sikt.

En kostnad består ofta av en blandning av helt olika slags uppoffringar. Vissa av dessa är prissatta medan andra får uppskattas med olika metoder. Kostnadsuppskattningen är därför avhängig hur dessa uppoffringar värderas och därmed föremål för debatt. Vid lägre kostnad blir den uppskattade potentialen för åtgärden högre.

Följande exempel kan illustrera svårigheten men samma tankegång kan användas för alla andra typer av resor. En person pendlar i sin stora stadsjeep en mil till jobbet. Om pendlaren som majoriteten i Sverige bor i en tätort finns förmodligen olika alternativ för resan och utsläppen kan minska genom en rad olika åtgärdsalternativ:

Tabell 5 Exempel på att åtgärder kan resultera i effekter som är svåra att kvantifierade och värdera monetärt. Därmed blir även potentialen svår att uppskatta.

Åtgärd	Minskad kostnad	Ökade kostnader
1) Byta till en stor familjebil.	Lägre fordons- och bränslekostnad	Sämre bekvämlighet för att sitta i en något mindre bil.
2) Byta till en mycket bensinsnålare bil	Mycket lägre fordons- och bränslekostnad	Ytterligare sämre bekvämlighet för att sitta i en ännu mindre bil.
3) Samåka med grannen i en bensinsnål bil	Delad låg kostnad	Måste planera sin tid och anpassa sig till grannen vilket ger en flexibilitets- och tidsförlust.
4) Åka kollektivt	Ingen fordonskostnad och billigt biljettpris. Kan använda restiden till t.ex. vila eller arbete.	Tar längre tid och kräver anpassning till tidtabell
5) Cykla	Billigaste resealternativet. Bättre hälsa och livskvalitet.	Tidsförlust för resan. Sämre bekvämlighet.
6) IT-pendla med ljud-, bild- och datauppkoppling.	I princip gratis.	Sämre kontakt med arbetskamrater.

I samtliga alternativ är det en ren finansiell vinst för pendlaren att byta från den stora bilen. Men hur uppskattas kostnaden för de olika aspekterna i kolumnen för ökade kostnader? De måste värderas högt eftersom många pendlare inte gör dessa val. De olika kostnaderna faller också olika på individ eller samhälle. Det finns vidare många psykologiska och sociala argument utöver de rent ekonomiska i valsituationer som denna. Den faktiska och upplevda säkerheten varierar mellan alternativen. Det kan alltså vara svårt att bestämma åtgärds-kostnader för framförallt persontransporter.

3.4 Åtgärder: Personresor

3.4.1 Effektivisera fordon och farkoster

Oavsett vilket drivmedel som används eller vilket fordon eller farkost som avses är energieffektivisering en värdefull åtgärd. Utsläppen av koldioxid minskar direkt om fordonet drivs med fossila bränslen, i annat fall räcker alternativa bränslen längre och till fler.

Tekniska åtgärder

Alla fordon och farkoster kan energieffektiviseras genom tekniska åtgärder. Det finns flera åtgärder inom den konventionella fordonstekniken som leder till minskningar i koldioxidutsläpp.

Den tekniska potentialen är mycket stor. Branschorganisationen BilSweden anger enligt Kågeson³⁴ en effektiviseringspotential på 75 % till 2020 jämfört med dagens nya bilar. Det kan ske genom följande adderbara åtgärder:

- Generell effektivisering av växellådor, vikt, motorer etc. (-20 %)
- Övergång till diesel och/eller nya motorkoncept (-20 %)
- Generell hybridteknik (-30 %)
- Plug-in-hybrid (-30 %)
- Beteendeförändringar, körsätt, däck m.m. (-15 %)

Flera av dessa förändringar kan ske snabbt, tex. att gå från bensinbilar till fler dieslbilar. Dieslbilar har ca. 30 % mindre bränsleåtgång, vilket motsvarar ca. 20 % lägre koldioxidutsläpp³⁵. Kväveoxidutsläppen är dock ett problem med ökad dieselanvändning eftersom utsläppskraven är lägre än för bensinbilar.

Relativt snabba åtgärder inkluderar också bättre luftmotstånd, lättviktsmaterial, låg friktion i däck, effektivare luftkonditionering etc. Andra åtgärder kräver fortsatt teknisk utveckling som t.ex. avancerad motorteknik.

Hybridteknik är en teknik för energieffektivisering av fordon. Hybridbilen är utrustad med både en bensin- och en elmotor. Energibesparingen sker genom att

³⁴ Kågeson (2007).

³⁵ Bates et.al. (2001).

förluster tas tillvara genom att ett batteri laddas upp vid exempelvis inbromsningar. Batteriet driver elmotorn vid belastningsfall där det är mer lämpligt med elmotordrift än bensinmotordrift. Tekniken kan minska bränsleåtgången med minst 30 %. I dagsläget är hybridbilarna med bensindrift bara något mer energieffektiva än dieslbilar. En nackdel med hybridteknikerna är att de fortfarande är dyra, skillnaden i inköpspris mellan en hybridbil och en jämförbar bensinbil är i dagsläget ungefär 100 000 kr. Utvecklingen av hybridbilar med dieseldrift pågår och kan ytterligare få ner bränsleförbrukning och därmed koldioxidutsläpp. En dieselhybrid bör få ner bränsleförbrukning jämfört med en vanlig dieselmotor med 15-20 %. I dagsläget finns inga kommersiella fordon som kombinerar hybriddrift och biodrivmedel. Detta är till synes mer av en marknadsmässig fråga, att bilindustrin inte tagit fram denna typ av bil för kommersialisering då marknaden för den har bedömts som osäker.

Nästa steg inom hybridtekniken är "plug-in" tekniken vilket innebär att fordonet har ett något större batteri som även kan laddas upp via elnätet. Det skulle innebära att fordonet kan köras upp till cirka 4 mil med batteriet vilket är en sträcka som i så fall skulle innefatta i storleksordningen 76 % av totala antalet fordonskilometer³⁶ (inklusive de första 4 milen av längre körsträckor). Vad detta innebär i koldioxidutsläpp är beroende på hur elen produceras.

Elforsk³⁷ har också gjort en sammanställning av möjliga åtgärder för minskning av koldioxidutsläpp till 2020 med uppskattning av kostnader. Kostnaden för en effektivisering med hybriddrift anges där till drygt 4 000 kr/ton med en potential på 3,5 Mton och effektivare motorer i personbilar med en vinst på 220 kr/ton och en potential på drygt 2 Mton. Kostnadsberäkningarna baseras på oljepriser från IEA som beräknas utifrån de priser som krävs för att tillräckliga investeringar ska genomföras i utvinning/produktion för att kunna bemöta den efterfrågan som IEA har räknat fram i sina modeller. Det innebär ett oljepris på 22 USD/fat 2010 och 26 USD/fat 2020 i 2000 års penningvärde. Detta är långt under de 50 USD/fat som används i prognosarbetet i Kontrollstation 2008 och som också baseras på senare data från IEA.

På längre sikt, efter 2020, öppnas förhoppningsvis ytterligare tekniska lösningar³⁸, dessa är t.ex. vätgasdrivna bränslecellsfordon och rena elfordon. Det kritiska med både vätgasdrivna fordon samt elektriska fordon vad gäller koldioxidutsläpp är naturligtvis hur elektricitet respektive vätgas framställs. I övrigt finns teknikerna men ansträngningar måste göras för att få ner kostnaderna för att kunna kommersialisera teknikerna. För elektriska fordon är utveckling av batteriet viktigt då effekten på batterier tillgängliga idag är lägre än dagens bilmotorer och kostnaderna är höga. Det forskas även på alternativ till batteridrift. För vätgasdrivna fordon är en frågeställning hur vätgasen ska distribueras. Även forskning för att förbättra och få ner priset på bränsleceller är avgörande. En

³⁶ Kågeson (2006).

³⁷ Elforsk (2005).

³⁸ IEA (2004a).

faktor som är positiv för både vätgasdrivna fordon samt elfordon är att de lokala emissionerna blir i princip noll.

Effektivisera fordon genom beteendeförändringar

Potentialen att förbättra ett fordon med bibehållen prestanda är alltså stor men om konsumenterna skulle nöja sig med fordon som klarar lagstadgad hastighet och en lägre acceleration blir potentialen än större. Vissa tekniska åtgärder är exempel som tangerar en beteendeförändring. Det finns dock rena beteendeförändringar som oavsett vilket fordon som används leder till lägre bränsleförbrukning, t.ex. sparsam körning och lägre hastighet.

Att sänka hastigheten minskar bränsleförbrukningen samtidigt som utsläppen minskar och trafiksäkerheten ökar. Luftmotståndet ökar kvadratisk med hastigheten och dominerar efter 75 km/h. Beräkningar finns för att fastställa den s.k. optimala hastighetsnivån för varje typ av väg. Det är den nivå där transporternas totalkostnad är så låg som möjligt. Gör man det hamnar man i storleksordningen 10 km/h under nuvarande fartgränser. Det skulle alltså vara kostnadseffektivt att sänka hastigheten.

I Klimatstrategin från 2004 uppskattar Vägverket potentialen till 2020 för att påverka körsättet till 1 Mton och en sänkt hastighet med 10 km/h i södra Sverige till 0,6 Mton.

Den samhällsekonomiska nyttan av dessa åtgärder är generellt sett stor.

Observera att alla transportslag kan ändra till en effektivare körstil och sänka hastigheten.

3.4.2 Utnyttja transportslagen effektivare

Användningen av varje transportslag kan effektiviseras genom att t.ex. planera resandet bättre. Bilpool är också ett exempel på effektivare utnyttjande av bilen.

Vägverket uppskattar dock potentialen som relativt blygsam. Etablerandet av bilpool skulle bara minska utsläppen med 0,2 Mton till 2020. Potentialen för andra typer av åtgärder som ökad beläggning genom samåkning bedöms än mindre³⁹.

3.4.3 Öka samarbetet mellan transportslagen

Energianvändningen varierar kraftigt mellan olika transportslag. För många resor är färd sättet givet, men om det finns ett val mellan olika transportslag kan det valet påverka energianvändningen för resan betydligt. Energianvändningen per personkilometer är flera gånger högre för bil än kollektivtrafik för korta resor.

³⁹ Vägverket (2004).

Trängselskatteförsöket i Stockholm visar att det finns en potential för överflyttning från biltrafik till kollektivt resande. Under försöket minskade vägtrafikens utsläpp i hela länet med 2 till 3 procent och i innerstaden med cirka 14 procent. De flesta resorna som tidigare gick med bil till och från arbete/skola över avgiftssnittet som bortfallit på grund av försöket gjordes istället med kollektivtrafik. Mycket få hade börjat distansarbete eller samåka mer.

3.4.4 Efterfrågan på transporter

Bättre samhällsplanering nämns ofta som ett sätt att minska efterfrågan på transporter. Kortare avstånd mellan bostaden och olika målpunkter eller mellan produktion och konsumenter leder till ett minskat transportarbetet eller till bättre förutsättningar att byta transportslag. Trenden idag är snarast motsatt med t.ex. etablering av ny externhandel i tätorternas ytterområden.

Miljövärdsberedningen⁴⁰ har uppmärksammat stadsplaneringen som ett nyckelområde och menar att på lokal nivå krävs ett antal viktiga inriktningar för att på kort och medellång sikt åtgärda och på lång sikt bygga bort de strukturer som bidrar till ökat transportberoende.

Viktiga åtgärdsområden är:

- genomtänkt bebyggelsestruktur för storstäder (decentraliserad koncentration/flerkärnighet/stjärnstad) och för övriga tätorter (enkärnighet).
- förtäta på redan exploaterad mark, särskilt kring kollektivtrafiknoder (det bör ske med hänsyn till att grönytor också är viktiga).
- god lokal kollektivtrafikförsörjning.
- decentraliserad service, såsom dagligvaruaffärer, skolor och daghem.
- begränsning av parkeringsytorna och bättre fordonseffektivtillgänglighet (stöd för bilpooler och biluthyrning).

Ett exempel på kommunal planering för hållbara transporter från Lunds kommun tyder på att en målinriktad planering i kombination med investeringar i miljöanpassade transporter kan dämpa biltrafiktillväxten på det kommunala trafiknätet med i storleksordningen 0,5 % per år.

Vägverket uppskattar potentialen med en transportsnål bebyggelsestruktur till 0,70 Mton till 2020 och 2,17 Mton till 2050⁴¹. Kågeson anger 5-10 procent i det långa perspektivet.

3.4.5 Sammanfattning av åtgärds kostnader och potentialer till år 2020

Trots metodmässiga svårigheter sammanställs här en grov uppskattning över potentialen och kostnader för olika åtgärder för persontransporter.

⁴⁰ Miljövärdsberedningen (2006).

⁴¹ Vägverket (2004).

Tabell 6 Grov uppskattning av potentialen för åtgärder i transportsektorn

Åtgärd	Koldioxidpotential 2020	Kostnad
Tekniska åtgärder på fordon	Mycket stor, minst 6 Mton	Från en vinst på 220 kr/ton till 4 000 kr/ton.
Beteendeåtgärder	Stor, minst 1,5 Mton	Svår att uppskatta – i vissa fall vinst
Effektivisera transportslag	Liten, mindre än 0,5 Mton	Svår att uppskatta
Öka samarbetet	Stor	Hög och svår att realisera
Minska transportefterfrågan	Stor	Hög och svår att realisera

3.5 Åtgärder: Godstransporter

3.5.1 Effektivisera fordon

Tekniska åtgärder

Det finns olika tekniska åtgärder för att energieffektivisera tunga lastbilar. Bränsleförbrukningen hos tunga fordon är primärt bestämda av fordonets vikt och dess körcykel⁴². Signifikanta förbättringar kan ske med avseende på⁴²:

- Motorn - bättre effektivitet och mindre storlek.
- Kraftöverföringen - minska förlusterna.
- Fordonet - lägre luftmotstånd och lägre energikonsumtion från påbyggd utrustning. Reduktionspotential ca. 30 procent.
- Tekniskt stöd till föraren för att underlätta sparsam körning. Reduktionspotential ca. 5 – 15 procent.
- Däck. Reduktionspotential ca. 5 – 15 procent
- Typ av släp. Reduktionspotential ca. 3 – 5 procent
- Smörjmedel. Reduktionspotential ca. 1 – 2 procent

Genomgångar har angett att en realistisk potential kan vara att minska bränsleförbrukningen med upp till 2 procent per år, till 20 procent på 10 år.⁴³ Det finns program för att systematiskt ta tillvara en sådan energieffektiviseringspotential. I Japan övervägs ett program att fram till 2015 minska bränsleförbrukningen med 12 procent (jämfört med 2002). I ett utvecklingsprogram har olika parter i USA enats om att driva på energieffektiviseringen av de tunga fordonen. Med elmotor i ett hybridsystem kan dieselmotorn användas mindre bränsleförbrukningen minska med upp emot hälften. Målsättningen är att öka dieselmotorns energieffektivitet 20 procent i ett första steg och mer sedan. Ingredienser är bl.a.

⁴² Nylund m.fl. (2006)

⁴³ Walsh (2006)

minskat luftmotstånd, minskad energikonsumtion av påbyggda motorer, minskning av fordonsvikten (med upp till 20 procent) ⁴⁴.

Utsläppen år 2020 från tunga trafiken antas vara ca. 9 Mton. Som ett räkneexempel antas att dessa tekniska åtgärder kan reducera bränsleförbrukningen och därigenom utsläppen med ca. 10 – 20 procent, d.v.s. 0,9-1,8 Mton. Dock är det komplicerat att beräkna åtgärdskostnaderna för tunga fordon av flera skäl, dels saknas de standardiserade testcykler som finns för lätta fordon dels saknas data på tekniska lösningar som t.ex. hybrider ⁴⁵.

Då fordon säljs på en internationell marknad är möjligheterna för Sveriges del att genomdriva dessa tekniska åtgärder obefintliga om det inte görs i internationellt samarbete, vilket betyder att det råder osäkerhet kring vilken potential som är realiserbar till år 2020. Ytterligare en begränsning med dessa åtgärder är att de leder till lägre transportkostnader vilket betyder att effektivitetsvinsterna kan ätas upp av en ökad efterfrågan, vid oförändrade ekonomiska incitament.

Beteendeåtgärder

Sparsam körning innebär att hålla så jämn fart som möjligt, körning på grönt varvtal i uppforsbackar och att hålla rätt däcktryck. En realistisk potential är att reducera bränsle förbrukningen med 10 procent. Bränslebesparing på upp till 20 procent kan noteras under optimala förhållanden och under förutsättning att förarna hela tiden tillämpar ett sparsamt körsätt. Långtidsuppföljningar visar på en reducerad bränsleförbrukning med mellan tre och sex procent ⁴⁶. Sparsam körning ger också lägre däckkostnader och mindre slitage på fordonen ⁴⁷. Bränsleförbrukningen har också en tydlig koppling till hastigheten, tunga fordon drar i snitt 24 procent mer bränsle vid 90 än vid 70 km/h ⁴⁸.

Utsläppen år 2020 från den tunga trafiken antogs ovan vara ca. 9 Mton. Som ett räkneexempel antas vidare att de tekniska åtgärderna genomförs, då återstår ca. 7–8 Mton som en kombination av beteende åtgärder kan reduceras med ca. 10 procent, d.v.s. 0,7-0,8 Mton.

Om en långtradare, som antas köra 20 000 mil/år, sänker sin hastighet från 89 till 80 km/h kan denna spara mer än 100 000 kronor årligen i bränslekostnad ⁴⁸. Hastighetsförändringen betyder också att samma körsträcka tar ca. 250 timmar mera tid per år. Om kostnaden för detta understiger 400 kronor per timme är åtgärden företagsekonomiskt lönsam. I en samhällsekonomisk kalkyl inräknas även andra intäkter såsom reducerade utsläpp, lägre vägslitage och minskad olycksrisk. I en samhällsekonomisk analys konstateras att dagens hastigheter är

⁴⁴ http://www1.eere.energy.gov/vehiclesandfuels/about/partnerships/21centurytruck/21ct_goals.html

⁴⁵ Särnholm & Gode (2007)

⁴⁶ Vägverket (2004)

⁴⁷ Vägverket (2006)

⁴⁸ Högsta tillåtna lastighet för en lastbil med släp är 80 km/h. Detta respekteras av mindre än var fjärde bil (www.akeri.se).

10 till 30 km/h högre än de samhällsekonomiskt optimala hastigheterna⁴⁹. Sänkt hastighet från 89 till 80 km/h är således samhällsekonomiskt lönsamt.

3.5.2 Utnyttja transportslagen effektivare

År 2001 var godstransportarbetet ca. 100 miljarder tonkm och prognosen till år 2020 är närmare 120 miljarder tonkm⁵⁰. Nära en fjärdedel av den sträcka som tunga fordon körde i Sverige år 2003 var tomkörningar, varav ca. 45 procent var körningar längre än 100 km⁵¹.

Även om det finns andra förklaringsfaktorer, kan det faktum att nära ¼ av den körda sträckan år 2003 var tomkörningar antyda att transportkostnaderna är låga i relation till andra kostnader och att effektiviteten kan höjas. Vissa transporter är svårare att undvika tomma returer på, t.ex. timmertransporter, avfallstransporter och tankbilstransporter. För övriga godstransporter finns en effektiviseringspotential⁵², vars storleksordning beror på hur starka incitament som kan åstadkommas. Antag att lastbilstransporterna i Sverige år 2020 ligger på ca. 15 miljoner fordonskilometer, vilket ger en tomkörningsgrad på närmare fyra miljoner fordonskilometer. Tomkörningen kan inte helt undvikas, men som ett räkneexempel antas att den kan minska med tio procent genom effektivare ruttplanering och godskollektivtrafik som möjliggör en ökad lastfaktor. Då ligger potentialen på drygt 0,5 Mton årligen.

Samhällsekonomiska kostnader för att öka lastfaktorn och införa godskollektivtrafik är t.ex. investering i bättre ruttplaneringssystem, förändringar av fordonen för att kunna lasta mer och tid, dels mera planering dels kan transporterna bli mera tidskrävande.

Genom att ifrågasätta t.ex. sändningsstruktur, fordons fyllnadsgrader och transportslag kan koldioxidutsläppen minskas med mellan fem procent och trettio procent för ett enskilt företag. Som schablon antas att ca. fem procent av omsättningen är transportkostnader, och en utredning som bedöms kosta 300 tkr leder till att transportarbetet minskar med fem procent. För ett företag med en omsättning som överstiger 8 miljoner kronor per år återbetalar sig åtgärden redan första året, även med ett avkastningskrav på 20 procent.⁵³

3.5.3 Öka samarbetet mellan transportslagen

Energianvändningen varierar stort även för olika godstransportslag. Flygfrakt är så energikrävande att även små mängder gods orsaka en betydande total energianvändning.

⁴⁹ Carlsson (2001)

⁵⁰ SIKA (2005a)

⁵¹ SIKA (2005b)

⁵² www.akeri.se

⁵³ Schenker Consulting AB (2004)

Utsläppen från en långväga transport på landsväg kan alltså mer än halveras genom överföring till järnväg eller sjöfart. Dock är den totala potentialen för stora överflyttningar mellan transportslagen är osäker. Flera bedömare anser att transportslagen har funnit sina nischer och att godsslagen i huvudsak transporteras på lämpligt färd sätt⁵⁴. Inriktningen i propositionen Moderna transporter⁵⁵ är dock att strategiska hamnar och kombiterminaler bör prioriteras.

Redan idag är den företagsekonomiska kostnaden för järnvägstransporter ca. hälften av kostnaden för vägtransporter, men mer tidskrävande transporter och låg turtäthet väsentliga konkurrenssnackdelar för järnvägen⁵⁶. En dagstur på järnväg Malmö-Stockholm är ca. tre timmar längre än motsvarande sträcka körd nattetid. En leverans från Rumänien till Sverige tar ca. tre dagar på väg och runt en vecka med järnväg⁵⁷.

Den tekniska potentialen för utsläppsminskningar är stor för strukturella åtgärder, dock är exakta potentialer och kostnader avsevärt svårare att skatta. Det man från myndighets sida kan påverka direkt är infrastrukturen för godstransporterna. Idag är vägtransporternas flexibilitet och tidseffektivitet vida överlägsen järnvägen. I syfte att skapa incitament till ett ökat samarbetet mellan transportslagen krävs ökad effektivitet i godstransporter på järnväg.

3.5.4 Minska efterfrågan på godstransporter

Genom att förändra konsumtionsmönstret mot mindre varor och mera tjänster⁵⁸ samtidigt som transportinnehåll i varorna minskar kan transportarbetet i förhållande till BNP reduceras med mer än 10 procent. Att antingen förändra konsumtionsmixen eller minska transportintensiteten för varor ger en potential på ca. 10 procent vardera.⁵⁹

Om transportarbetet med lastbil för svensk privat konsumtion år 2001 fördelas på varugrupper (även tjänster) utgör varugrupperna livsmedel, transporter (som genererar transporter av bränslen, tillbehör etc.) och bostäder tillsammans drygt 70 procent. **Fel! Bokmärket är inte definierat.** Grovt räknat stod dagligvaruhandel med livsmedel, inklusive potatis, spannmål och gödsel samt kläder och textil för dryga 50 procent av de totala transporterna⁶⁰.

⁵⁴ Kågeson (2007)

⁵⁵ Prop. 2005/06:160

⁵⁶ Schenker Consulting AB (2004)

⁵⁷ www.e24.se. Som ett exempel kan nämnas att bara 6 procent av Ikeas transporter går idag med järnväg, vilket är en minskning från 10 procent år 2004. Detta förklarar man delvis med tidskrävande och oprecisa leveranser. Ur företagets perspektiv ser man en harmonisering av säkerhets- och signalsystemen inom Europa som en nödvändig förändring.

⁵⁸ Livsmedel har en transportintensitet på ca. 26 tonkm per tusen kronor i varuvärde medan tjänster i allmänhet ligger mellan 5 och 10 kronor.

⁵⁹ Åkerman & Hedberg (2005)

⁶⁰ SIKA (2005b)

För att minska transportarbetet i dessa varugrupper kan, i stora drag, åtgärder av tre olika typer övervägas, dematerialisering, begränsa transportavstånd och ändra konsumtionens sammansättning⁶¹.

Livsmedelskonsumtionen kan inte dematerialiseras. För denna varugrupp handlar det istället om att dels effektivisera transporterna dels begränsa avståndet. Idag är ca. 40 procent av det svenska äter importerat⁶², vilket kan innebära en potential att reducera godstransporterna genom att ersätta långväga transporterade livsmedel. I en jämförande studie av energianvändningen för livsmedel sålda på Bondens marknad⁶³ och i det konventionella livsmedelssystem fanns inga signifikanta skillnader i energianvändning för transporter, utom för färsk frukt och grönsaker där de transportrelaterade energikostnaderna var lägre i det lokala produktionssystemet⁶⁴. Dock finns en potential i att utveckla de lokala/regionala distributionssystemen volymmässigt så att inte fördelarna av kortare transportavstånd äts upp av t.ex. låg fyllnadsgrad och bränsleineffektiva fordon⁶⁵. Det är då viktigt att väga in den totala energianvändningen i livscykeln för livsmedel för olika produktionssystem. En annan tydlig strukturförändring i matvarukedjan är att många små butiker på gångavstånd från bostäder har ersatts av ett fåtal större butiker dit de flesta åker bil⁶⁶. Detta betyder att mer transportintensiva livsmedel delvis slagit igenom som ökade persontransporter och att hemtransporterna kan utgöra uppemot hälften av koldioxidutsläppen i en produkts livscykel⁶⁷.

För varugruppen bostadstjänster möbler och hushållsutrustning kan flera olika förändringar av själva varorna bidra till mindre transporter. Det handlar om lättare material, materialsnål design, varor med längre livslängder, men också om att minska transportavstånden genom lokal produktion och kortare avstånd i förädlingskedjan.⁶¹

Men det kan också handla om infrastruktur för att öka den lokala omsättningen av begagnade varor. På återvinningscentralerna bör det finnas en plats där begagnade varor kan byta ägare. Det finns redan i dag i vissa orter. Mål och åtgärder för att ordna dessa platser bör behandlas i den kommunala avfallsplaneringen.

3.5.5 Arbetsmaskiner

Arbetsmaskiner tillhör egentligen inte transportsektorn, men använder i stor utsträckning samma motorer som finns i bl.a. lastbilar. Det finns ingen tydlig energieffektiviseringspotential för arbetsmaskiner. Ett teknikskifte till hybrid-

⁶¹ Åkerman & Hedberg (2005)

⁶² Naturvårdsverket (2003)

⁶³ Det som säljs ska vara producerat inom 250 km radie från marknaden och räknas därmed som "närproducerat" (www.livsmedelssverige.org).

⁶⁴ Wallgren (2006)

⁶⁵ Wallgren (2007)

⁶⁶ Wallgren (2000)

⁶⁷ Sonesson (2007)

drift skulle dock kunna var ett genombrott, men det är inte aktuellt på kort sikt. Förnybara bränslealternativ till främst diesel fungerar givetvis även för arbetsmaskiner. Åtgärder som sparsam körning och att bättre försöka anpassa maskinerna till arbetets art kan också minska bränsleförbrukningen.

3.5.6 Sammanfattning av åtgärdspotential och kostnader för gods-transporter till år 2020

Trots de metodologiska svårigheterna sammanställs här en grov uppskattning över potentialen och kostnader för olika åtgärder för godstransporterna.

Tabell 7 Grov uppskattning av potentialen för åtgärder i transportsektorn

Åtgärd	Koldioxidpotential 2020	Kostnad
Tekniska åtgärder på fordon	Sammantaget möjligen ca. 2,5	Oklart
Beteende åtgärder	Mton för dessa tre	Samhällsekonomiskt lönsamt
Effektivisera transportslag	åtgärdstyper	Samhällsekonomiskt lönsamt
Öka samarbetet	Dessa strukturåtgärder har i ett längre tidsperspektiv stor potential	
Minska transportefterfrågan		

3.6 Öka andelen biodrivmedel

Genom att använda andra bränslen än fossila bensin och diesel kan koldioxidutsläppen minskas. Det finns en rad olika drivmedel som framför allt har biomassa som ursprung. Generellt sett är det dock väsentligt både mer kostnads- och energieffektivt att använda biobränsle för exempelvis värmeändamål i energisektorn än som fordonsbränsle genom att man slipper förädla det.

En satsning på biodrivmedel kan dock motiveras också utifrån andra skäl, såsom försörjningstrygghet, att bryta oljeberoendet i en sektor som i det närmaste är totalt oljeberoende och utveckling av ny industriell näringsgren. Inom EU har jordbrukspolitik stor påverkan på utvecklingen av biodrivmedel. Detta kan vara viktigt att ha i åtanke när kostnadseffektiviteten av biodrivmedel bedöms. Det finns också modellberäkningar gjorda med uppdrag av EU i samband med framtagandet om det föreslagna målet om 10 % biodrivmedel i transportsektorn⁶⁸, där modellen beräknar fördelningen av målet om 20 % förnybara energikällor i olika sektorer fram till 2020 med avseende på kostnadseffektivitet. Resultatet blev då 14 % biodrivmedel i transportsektorn, de visar att de närmaste åren är det inte kostnadseffektivt med biodrivmedel, men längre fram kommer det in mycket biodrivmedel p.g.a. teknisk utveckling och att de billigare åtgärderna redan är genomförda. Modellberäkningarna bygger på en mängd anta-

⁶⁸ Europeiska kommissionen (2006)

ganden, av stor vikt är antaganden om kostnadseffektiviteten i andra generationens biodrivmedel.

Om biobränsle skall användas som biodrivmedel i transportsektorn är låginblandning det enklaste och billigaste alternativet då det inte kräver någon extra infrastruktur. EUs föreslagna bindande mål om 10 % energiandel biodrivmedel i transportsektorn 2020 kommer dock inte uppnås med låginblandning vid dagens regler, och även den förmodade höjningen av låginblandning av etanol i bensin till 10 % volymandel tillåts. Vilka drivmedel som kommer framöver är inte klart, men det finns exempel på drivmedel som kan låginblandas i högre andelar än dagens tillåtna och ändå inte ändra standarder; exempelvis diesel där bioolja tillförts i raffinaderiet (BTL) och längre fram, runt 2015, också exempelvis Fischer-Tropsch diesel. Naturligtvis kan även fler bilar som kan använda biodrivmedel krävas, och också högre andelar låginblandning tillåtet i bränslespecifikationerna. Eftersom tillgången på biobränsle är begränsad räcker biobränslet inte till alla behov och en hög energieffektivitet är därför alltid motiverad.

En strategi för introduktion av biodrivmedel togs gemensamt av Naturvårdsverket, Vinnova, Vägverket och Energimyndigheten 2003⁶⁹. Prioriterat i denna strategi är utveckling av nya produktionsmetoder för biodrivmedel, som ska kunna ge kostnadseffektiva och energieffektiva metoder för framställning av biodrivmedel. En punkt i strategin är att ökad låginblandning är det lämpligaste för att bygga upp stora volymer biodrivmedel. Sedan kan introduktion av fordon som drivs med biodrivmedel introduceras i större skala, men att det är upp till marknaden vilka drivmedel som introduceras.

3.6.1 Potentialbedömningar för biomassa

Framtagning av biodrivmedel ger ett nytt användningsområde för biomassa och utnyttjande av landarealer. Här finns konkurrenssituationer, dels för användandet av biomassa till bland annat råvara till industrin och för förbränning i el- och värmesektorn. Även konkurrens om användandet av landarealer sker mellan främst matproduktion, men även om landarealer som används för rekreation och skydd av biologisk mångfald.

Det har gjorts många studier om potential för bioenergi, de ger ofta olika resultat beroende på vilka antaganden och bedömningsgrunder som görs. Berndes et al.⁷⁰ sammanställer 17 gjorda studier om global bioenergipotential. Han skiljer på studier som är resursfokuserade, där man ser på totala resursbasen och konkurrens med annan landanvändning, och behovsdriven, där konkurrensen sker med andra energikällor. Resultat från de resursfokuserade studierna varierar stort. År 2020-2030 varierar studier från ca. 100-300 EJ/år och år 2050 är variationen under 100 EJ till över 400 EJ/år. Detta kan jämföras med den totala globala energikonsumtionen som var ungefär drygt 400 EJ/år under 1999-2000.

⁶⁹ Energimyndigheten, Naturvårdsverket, Vägverket, Vinnova (2003)

⁷⁰ Berndes et al (2003)

De största variationerna ligger i antaganden hur stora landarealer som kan upptas av energiplantager och vilken avkastning de ger. I de mest optimistiska fallen förutsätts stora ytor, speciellt i Afrika, användas för energiproduktion med export till andra länder. Annat som skiljer är antaganden vad gäller restprodukter från skogsindustrin; vissa studier antar en viss tillväxt i skogsindustrin och antar restprodukter som kan användas för energiändamål efter det, medan andra inte har sådana restriktioner. Berndes et.al visar att bioenergianvändningen kan öka betydligt, men det finns stora osäkerheter vad gäller potentialen och andra miljökonsekvenser och sociala konsekvenser av en ökning behöver utredas mer.

Ericsson och Nilsson⁷¹ analyserar bioenergipotentialen i Europa⁷² från ett resursperspektiv. De visar också på betydelsen av antaganden om energiplantager och dess avkastning. De har flera scenarier med olika antaganden om energi hur stor andel av åkermarken som kan avsättas för energiproduktion, där olika tidsperspektiv spelar in;

- 10-20 år: 10 % av åkermark används för energiplantager
- 20-40 år: 25 % av åkermark
- mer än 40 år: åkermark för att uppnå nationell självständighet i matproduktion borträknad, resten används för energiproduktion.

Resultaten varierar mellan 4,6 EJ/år det kortaste tidsperspektivet och 23 EJ/år i det längsta. Detta kan jämföras med EU15s totala energianvändning 2001 på 62 EJ.

Profu har gjort en sammanställning av studier på bioenergi i Sverige⁷³. Studierna varierar i potential efter de utgångspunkter som finns; teoretisk, ekologisk, teknisk ekonomisk och praktiskt genomförbar. Profu har sammanställt potential för skog, lutar och åker. Studierna för skog till 2020 visar på variationer på 61-132 TWh. Potentialen för lutar till 2020 ligger runt 45 TWh, och Profu menar att detta inte är grundligt analyserat utan bygger på något antagande om tillväxt inom skogsindustrin i och med att det ligger nära dagens värde. Potential från åker varierar mellan ungefär 17-79 TWh. Tidsperspektivet är inte alltid givet. Variationerna beror återigen till stor del på antaganden om vilken andel av åkermarken som kan användas för planteringar av salix, rörflen och andra energiogrödor.

Sammanfattningsvis visar dessa studier att användningen av biomassa kan öka betydligt, i Sverige, på EU-nivå och globalt, men biobränsle kommer inte att räcka för alla behov. Användning av biomassa för energiändamål och energieffektivisering måste kombineras. Uppskattade potentialer av biomassa varierar stort, den största skillnaden beror på antaganden om energiplantager och dess avkastning. En betydande ökning av biomassanvändning kan medföra conse-

⁷¹ Ericsson och Nilsson (2006)

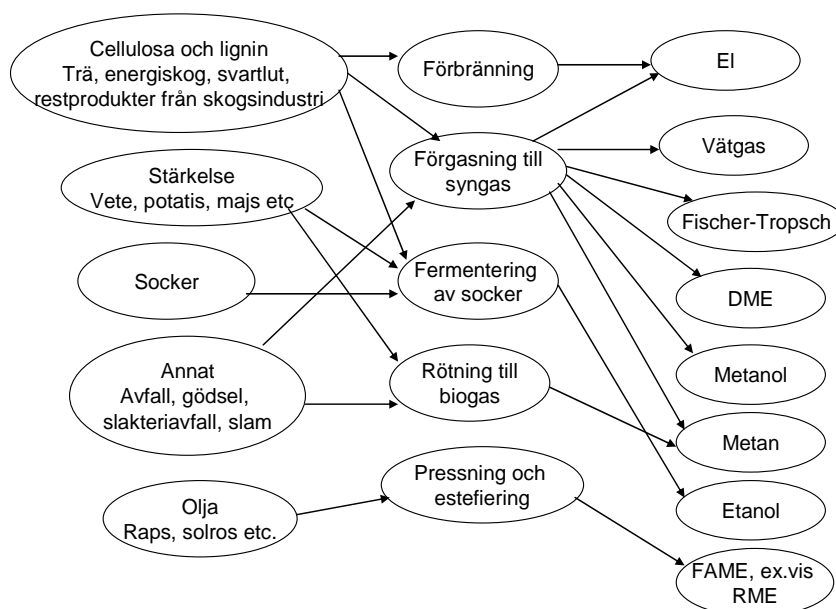
⁷² De länder som ingår är EU27, Vitryssland och Ukraina.

⁷³ Profu (2007)

kvenser för andra områden; konkurrens om landanvändning med exempelvis matproduktion och produkter från skogsindustri, andra miljöfrågor såsom biologisk mångfald och sociala konsekvenser som måste utredas och följas upp noggrant.

3.6.2 Framställning av biodrivmedel

Biodrivmedel kan framställas med en mängd råvaror och produktionsmetoder, vilket kan ses i Figur 15. Ofta delas biodrivmedel upp i första och andra generationen. Det finns ingen enhetlig definition på detta, men generellt sett brukar de biodrivmedel som finns idag benämnas första generationen och de som ännu inte är kommersiellt tillgängliga utan under utveckling i pilot och demonstrationsanläggningar för andra generationen. I ett längre perspektiv brukar vätgas från biomassa benämnas tredje generationen.



Figur 15 Biodrivmedel och dess råvaror och framställningsmetoder⁷⁴

De drivmedel som framställs idag är främst etanol från jordbruksprodukter, FAME från främst vegetabiliska oljor och biogas. Etanol har en särställning i Sverige. De biodrivmedel som väntas komma är etanol från cellulosa, och drivmedel framställda från förgasning av biomassa, då en gas fås som kan omvandlas till olika drivmedel; metanol, DME, syntetisk diesel och vätgas.

Etanol

Etanol är en alkohol som framställs på syntetisk väg eller genom jäsning av socker från sockerrika grödor som sockerbetar, sockerrör eller stärkelserika grödor som majs, potatis och spannmål. Det går även att använda cellulosan i trä,

⁷⁴ Grahn (2006)

men den är svårare att bryta ner. I dagsläget är det jordbruksprodukter som används för etanolproduktion, exempelvis sockerrör i Brasilien, majs i USA och i Sverige spannmål.

Biogas

Biogas består av metan och koldioxid och är resultatet av anaerob nedbrytning av biologiskt nedbrytbart material. Under 2005 producerades i Sverige 218 miljoner Nm³ biogas, vilket motsvarar ett energiinnehåll om 1 285 GWh⁷⁵. Mängden producerad biogas väntas öka. 233 biogasproducerande anläggningar fanns 2005.

158 GWh användes som fordonsbränsle, vilket motsvarar 12 procent. Deponigas kan inte med dagens teknik uppgraderas till fordonsbränsle, då ett visst inläckage av luft sker när deponigasen tas ut. Deponigasen kommer att minska i betydelse då det nu är förbjudet att deponera brännbart och organiskt material. De vanligaste användningsområdena för biogas är uppvärmning och intern förbrukning i anläggningarna. Biogas används som fordonsbränsle främst i ett antal städer som har satsat på att använda detta bränsle för sina stadsbussar och även för en del arbetsfordon. Ett syfte förutom klimatmål har varit en bättre stadsmiljö då emissionerna från biogas som bränsle är lägre än för diesel.

FAME

Råvaran till FAME kan vara vegetabilisk olja, exempelvis från raps, solrosfrön eller palmolja, använd stekolja eller animaliskt fett. Produktionsprocessen går till så att förbehandlad olja (genom filtrering och rening) blandas med en alkohol, vanligtvis metanol och en katalysator. Oljemolekylerna bryts sönder och återformas som estrar och glycerol, varav estrarna är biodieseln. RME är en typ som framställs av rapsolja.

Bränslen från förgasning

Förgasning av råvara ger en syngas som kan användas för framställning av ett flertal drivmedel; metanol, DME, syntetisk diesel och vätgas. DME och biogas är gasformiga bränslen och etanol, RME, syntetisk diesel och metanol flytande. Som råvara kan restprodukter från skogsindustri användas men även jordbruksprodukter som halm och spannmål.

Syftet att utveckla nya tekniker är att höja energieffektiviteten i framställningen, som är högre för exempelvis bränslen från förgasning. Kostnadseffektiviteten i de nya teknikerna förväntas också bli bättre i ett längre perspektiv, men det kan framhållas att detta är förväntningar i och med att tekniken inte är kommersialiserad ännu. Ett annat syfte är att bredda råvarubasen från idag jordbruksprodukter till att även inkludera träråvara. Sverige har valt att satsa på denna råvara i och med den stora inhemska resurs som finns. Det finns tre pilotanläggningar i Sverige, som får stöd bland annat av Energimyndigheten. De utvecklar teknik

⁷⁵ Energimyndigheten (2007)

för etanolframställning ur cellulosa samt bränslen ur förgasning av svartlut samt biomassa.

3.6.3 Energiåtgång och koldioxidutsläpp vid framställning av biodrivmedel

Det är stor skillnad på energibalans vid framställning av olika typer av biodrivmedel och från olika råvaror. Det finns en mängd studier på detta, men det kan vara svårt att jämföra data i och med att exempelvis antaganden om vad restprodukter används till och ersätter, vilken allokering av energiåtgång som görs mellan drivmedel och restprodukter, vilka systemgränser som sätts, spelar stor roll för resultaten. För att kunna värdera resultaten måste kunskap finnas om dessa antaganden. Tabell 8 är en sammanställning av energibalanser för framställning av etanol ur olika grödor. Energibalans innebär drivmedlets energiinnehåll dividerat med den energi som åtgått för att ta fram drivmedlet.

Tabell 8 Sammanställning av studier om energibalans vid framställning av etanol

Råvara	Svenska studier	Internationella studier
Spannmål	0,68-2,83	1,08-2,25
Vin	0,91	
Lignocellulosa	1,82-5,65	1,88-5,60
Sockerbetor		1,18-2,50
Majs		0,78-2,51

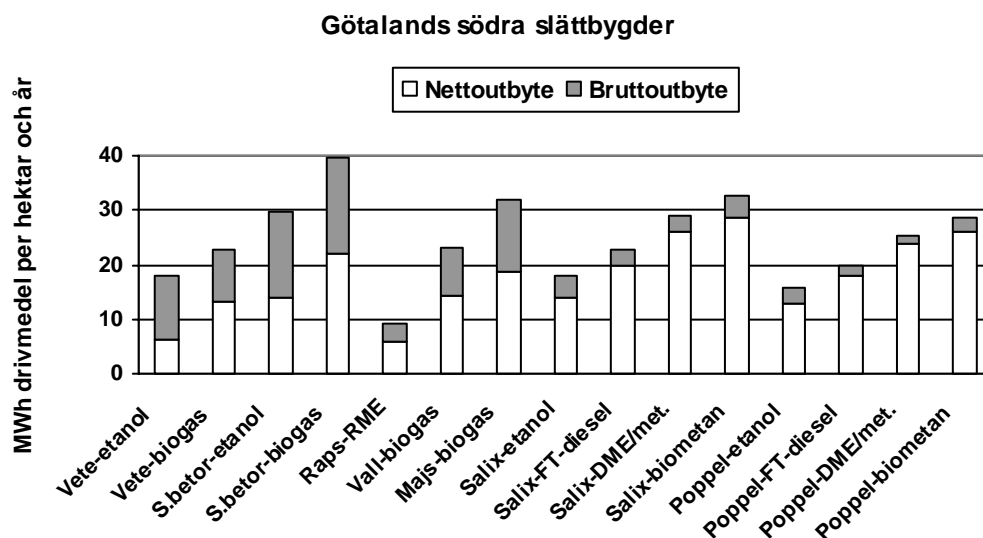
Etanol från lignocellulosa (genomsnittsvärde 3,2) har generellt en bättre energibalans än från spannmål (genomsnittligt värde 1,6). Den högsta siffran på energibalans härrör sig från svartlutsförgasning, som är en biprodukt från massaindustrin. Etanol från sockerbetor har en något bättre energibalans (genomsnitt 1,8) än spannmål (1,6) och majs (genomsnitt 1,4). För att förbättra energibalansen är det viktigt att ha energikombinat där restprodukter kan utnyttjas på lämpliga sätt. Forskning pågår för att analysera olika typer av kombinat. Ett exempel som skulle förbättra energieffektiviteten i etanolframställning är om restprodukten drank rötades till biogas istället för att torkas till djurfoder. Andra exempel är kombinat med industrier och kraftvärmeverk.

EUs Well-to-wheels projekt⁷⁶ går igenom energiåtgång samt koldioxidutsläpp från framställning av olika biodrivmedel, bland annat biogas, etanol, RME, syntetisk diesel, DME och metanol. Datan innefattar hela kedjan från odling av råvaran till framställning av bränsle till tank, det är bara förbränning i motorn som inte är medräknad. Rapporten visar också stora variationer mellan råvaru-användning, vilken process som används och vad restprodukter används till. De bränslen som kan framställas med förgasningsteknik; DME, metanol och syntetisk diesel, visar generellt bättre energieffektivitet och lägre koldioxidutsläpp än exempelvis etanolframställning. DME, metanol och syntetisk diesel från svartlut är det mest energieffektiva, men här finns begränsningen i tillgång på svartlut

⁷⁶ EU (2007)

som beror på pappers- och massaindustrins utveckling. Även biogas visar jämförelsevis god energieffektivitet och låga koldioxidutsläpp, särskilt då exempelvis gödsel behandlas med denna metod då metanutsläpp undviks. Vad avser biogas är tillgång på råvara en begränsande faktor. Energieffektivitet vad gäller etanolframställning är sämre än för bränslen från förgasningsteknik, vad gäller koldioxidutsläpp varierar detta stort beroende på bland annat på om restprodukten används till foder eller bränsle (bränsle bättre) och hur energi som används i processen används. RME har sämre energieffektivitet än bränslen från förgasning och bättre än etanol. Om koldioxidutsläpp jämförs mellan RME och etanol beror detta på hur etanolen framställs och restprodukter. Här bör noteras att drivmedel som är kommersiellt tillgängliga; etanol från jordbruksprodukter, biogas och RME jämförs med drivmedel som ännu inte är det; drivmedel från förgasning och etanol från cellulosa. Det kan innebära att jämförelsen inte är helt rättvis.

Ett annat sätt att redovisa effektiviteten i framställning av biodrivmedel är att se hur stor produktionen blir från ett hektar åkermark med olika typer av råvaror och produktionsmetoder. Med ett ökat uttag av biomassa för energiändamål kommer användning av landarealer bli allt viktigare i framtiden. En rapport från Lunds Tekniska Högskola har gjort en sammanställning över svenska förhållanden⁷⁷. Figur 16 visar avkastning per hektar för drivmedel, med en region som exempel. I rapporten finns fler regioner.



Figur 16 Biodrivmedelsproduktion för olika råvaror och processer⁷⁷, MWh per hektar och år i Götalands södra slättbygder

I en undersökning som denna finns en mängd antaganden och mer eller mindre säkra data. Vad gäller utbyte av etanol från spannmål respektive RME från raps bygger detta på existerande anläggningar, liksom delvis för biogas, framför allt

⁷⁷ Börjesson (2007)

från gödsel och vall. Etanol och biogas från sockerbetor, etanol från trädbränsle samt DME, F-T-diesel, metanol och biometan från förgasad biomassa bygger på försök och teoretiska uppskattningar och ger därmed mer osäkra data än de som bygger på existerande anläggningar.

Med bruttoproduktion i figurerna menas den faktiska drivmedelsproduktionen och vid nettoproduktion har energiinsatserna vid odling, transport och förädling dragits bort. En viktig aspekt i denna redovisning är att de biprodukter som fås vid drivmedelsframställningen inte är medräknade mer än att insatsenergin reduceras något. Vid produktion av etanol från vete och sockerbetor, RME från raps samt etanol från energiskog fås biprodukter som motsvarar ungefär en tredjedel av den ursprungliga biomassan energivärde. Det totala energiutbytet, brutto, skulle öka med ca. 60 % för etanol från vete och sockerbetor om biprodukterna räknades in, med 75 % för RME från raps och 90 % för etanol från energiskog. Det kan även nämnas att osäkerheterna i uppskattning av produktion av andra generationens biodrivmedel är särskilt stora i och med att teknikerna fortfarande är under utveckling. Rapporten framhåller också vikten av energikombinat och genomtänkta lösningar vid framställning av biodrivmedel, för att utnyttja biomasseresursen på så effektivt sätt som möjligt.

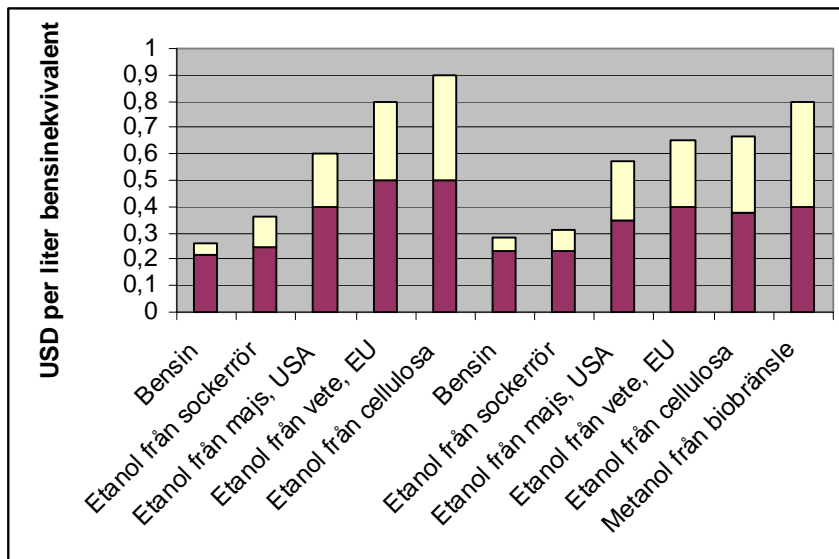
Slutsatsen är att för kommersiella tekniker är det biogasframställningen som ger bästa utbytet per hektar. Framställning av bränslen från förgasning förväntas ge bättre utbyte per hektar än de kommersiellt tillgängliga teknikerna idag, framförallt nettoutbyte av drivmedel. Utbytet per hektar för drivmedel från förgasning väntas bli högre än från etanol från cellulosa.

3.6.4 Kostnader för framställning av biodrivmedel

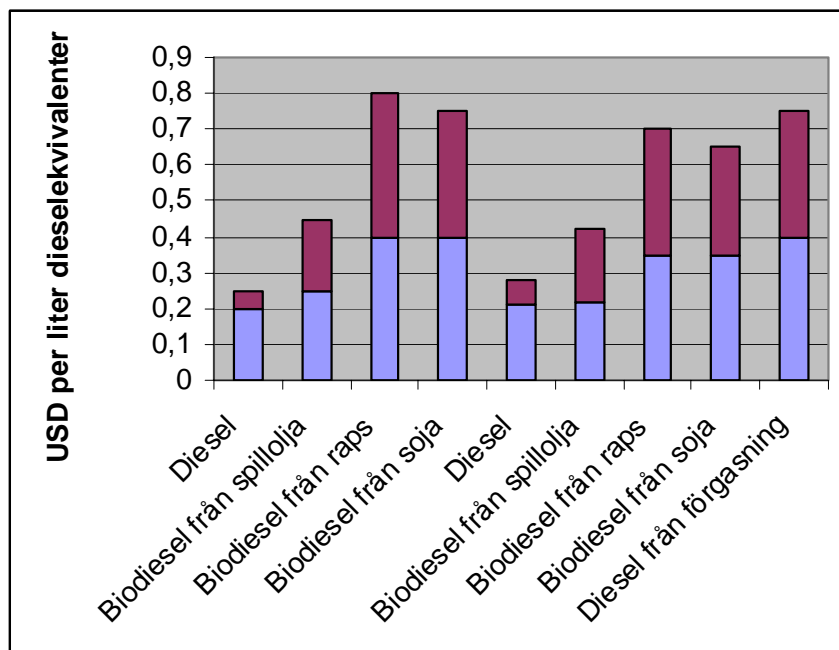
International Energy Agency (IEA) har gjort en sammanställning om biodrivmedel i transportsektorn, där bland annat kostnader för produktion av biodrivmedel och medföljande kostnader för koldioxidreduktion presenteras⁷⁸. Rapporten koncentrerar sig på flytande biodrivmedel; etanol och biodiesel från vegetabiliska oljor samt förgasning av biomassa.

I Figur 17 ses produktionskostnader för framställning av bensin och biodrivmedel. En hög och en låg nivå visas. Staplarna till vänster i figuren avser 2002 och de till höger efter 2010.

⁷⁸ IEA (2004b)



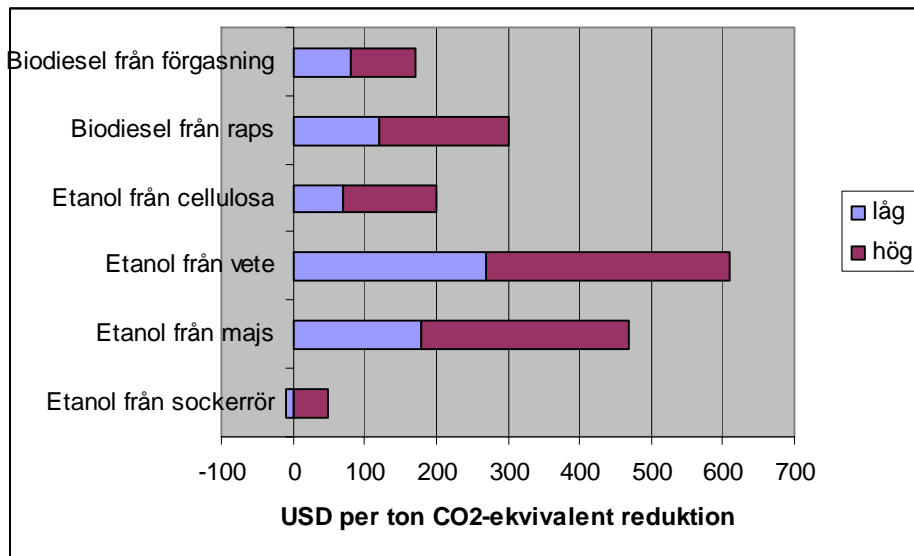
Figur 17 Produktionskostnader för bensin och biodrivmedel, en hög och en låg nivå. Staplarna till vänster i figuren avser 2002 och de till höger efter 2010



Figur 18 Produktionskostnader för diesel och biodrivmedel, en hög och en låg nivå. Staplarna till vänster i figuren avser 2002 och de till höger efter 2010

I Figur 19 visas kostnaderna för växthusgasreduktion med de olika råvarorna och framställningsmetoderna, hämtat från IEAs rapport⁷⁹.

⁷⁹ IEA (2004b)



Figur 19 Kostnader för reduktion av växthusgaser, efter 2010

Källa: IEA.

Naturvårdsverket⁸⁰ har tagit fram åtgärds kostnader för ersättning av bensin med etanol genom låginblandning till 2,3 kr/kg CO₂-reduktion och för tropisk etanol 0,2 kr/kg för 2010. Beräkningarna är gjorda med antagande om bensinpris på Rotterdam marknaden till 2,0 kr/liter. Kostnadseffektiviteten för låginblandning av RME i diesel är 2,5 kr/kg enligt rapporten.

Elforsk⁸¹ har gjort en sammanställning av möjliga åtgärder för minskning av koldioxidutsläpp 2010 och 2020, kostnader och resulterande utsläppsminskningar. En sammanställning av kostnader och potentialer för ökad användning av biodrivmedel kan ses i Tabell 9. Kostnadsberäkningarna baseras på oljepriser från IEA som beräknas utifrån de priser som krävs för att tillräckliga investeringar ska genomföras i utvinning/produktion för att kunna bemöta den efterfrågan som IEA har räknat fram i sina modeller. Det innebär ett oljepris på 22 USD/fat 2010 och 26 USD/fat 2020 i 2000 års penningvärde. Detta är långt under de 50 USD/fat som används i prognosarbetet i Kontrollstation 2008 och som också baseras på senare data från IEA. En annan förutsättning är att endast CO₂-utsläpp från användning och produktion av energi räknas in, inte processer.

⁸⁰ Naturvårdsverket (2004)

⁸¹ Elforsk (2005)

Tabell 9 Potentialer och kostnader för åtgärder för koldioxidminskningar, sammanställning från Elforsk (2005)

	2010		2020	
	Kostnad (SEK/ton CO ₂)	Potential (ton CO ₂ /år)	Kostnad (SEK/ton CO ₂)	Potential (ton CO ₂ /år)
<i>Personbil, bensin låg- inblandning 5 % etanol från spannmål</i>	2 170	838 000	2 170	838 000
<i>Personbil bensin till biogas</i>	3 400	264 000	3 400	951 000
<i>Personbil bensin till E85 (spannmål)</i>	1 810	675 000	1 800	677 000
<i>Personbil bensin till E85 (cellulosa)</i>			860	4 544 000
<i>Personbil bensin till metanol (naturgas)</i>	600	1 073 000	440	744 000
<i>Personbil bensin till metanol (cellulosa)</i>			480	5 397 000
<i>Personbil diesel till RME</i>	1 300	203 000		
<i>Personbil diesel till FTD (cellulosa)</i>			900	3 659 000
<i>Personbil diesel till DME</i>			690	3 861 000
<i>Tunga fordon diesel till RME</i>	1 310	202 000		
<i>Tunga fordon diesel till FTD (cellulosa)</i>			890	988 000
<i>Tunga fordon diesel till DME (cellulosa)</i>			690	1 043 000

Den slutsats som kan dras från Tabell 9 är att kostnaderna för koldioxidminskningar med hjälp av biodrivmedel med dagens teknik är relativt dyra, runt 2 kr/kg för etanol från spannmål och över 3 kr/kg för biogas. Ersättning av diesel med RME är billigare 1,3 kr/kg. Än billigare åtgärder kan förväntas när drivmedel från förgasning kan slå igenom (DME, metanol, syntetisk diesel). I och med att drivmedlen inte är kommersiellt tillgängliga ännu är kostnadsuppskattningarna dock osäkra.

3.6.5 Sammanfattning av åtgärds-kostnader och potentialer till år 2020 för biodrivmedel

Det är inte enkelt att uppskatta potentialerna och kostnaderna för utsläppsminskningar med hjälp av biodrivmedel till 2020. Potentialen beror bland annat på vilka val som görs angående import av biobränsle. Kostnaderna för en sådan import beror på hur biodrivmedelsmarknaden utvecklas, och det styrs bland annat av vilka politiska mål angående biodrivmedel som sätts upp av andra länder, som i sin tur styr vilken efterfrågan som kommer att finnas på biodrivmedel. I det avseendet kan man säga att potentialen nationellt beror på vilka kostnader man är beredd att acceptera. Det är värt att poängtera att i ett större perspektiv

kommer inte biomassa att räcka till alla behov. Potentialen och kostnaden 2020 är beroende av utvecklingen av andra generationens biodrivmedel, som synes i Tabell 9 är de potentialerna större samt kostnaderna lägre. I och med att dessa drivmedel inte är kommersiellt tillgängliga ännu är kostnadsuppskattningarna för dessa betydligt osäkrare än de som görs för första generationens biodrivmedel, som även de rymmer osäkerheter, speciellt avseende priset på råvaror.

Utvecklingen av oljepriset är också en faktor som är betydelsefull vid kostnadsberäkningar. Vid framtagande av kostnader och potentialer i Tabell 9 används lägre oljepriser än de som använts i prognosen inom Kontrollstation. Detta påverkar åtgärds-kostnaderna, som kan förväntas vara lägre än i tabellen, dock bör inbördes ordningen för olika åtgärder vad gäller kostnadseffektivitet vara densamma.

Prognosen inom Kontrollstation 2008 visar på en andel biodrivmedel 2020 på 6,9 %. Om denna andel skulle öka till 10 % istället, vilket är det föreslagna målet inom EU till 2020, skulle det innebära ytterligare minskningar i koldioxidutsläpp på 0,8⁸² Mton år 2020.

⁸² Siffran tar endast hänsyn till ersättning av fossilt bränsle, och inte koldioxidutsläppen i framställning av biodrivmedel.

4 Bostäder och lokaler

4.1 Sammanfattning – bostäder och lokaler

Kraftigt minskande utsläpp av växthusgaser karaktäriserar sektorn bostäder och lokaler. Minskningen har accelererat de senaste åren då oljepriserna har varit höga.

Oljeanvändningen bedöms fortsätta att minska enligt den senaste prognosen. De direkta utsläppen från uppvärmning väntas därför bli mycket små år 2020.

Konvertering från fossila bränslen

Åtgärdskostnaderna för att konvertera olja till andra uppvärmningsformer i småhus beräknas ligga på allt mellan negativ kostnad – d.v.s. en intäkt - och cirka 900 kr per ton CO₂. Till de åtgärder som har negativ kostnad hör konvertering från olja i småhus till fjärrvärme och bergvärmepump. Kostnaderna för konvertering till pellets ligger mellan 500-900 kr/ton CO₂. Beräkningarna utgår ifrån dagens priser och kostnader exklusive styrmedel t.ex. skatter och moms. De ska därför inte blandas ihop med privatekonomiska kalkyler. Den potentiella reduktionen i Sverige av konvertering i småhus summerar till cirka 0,8 Mton koldioxid. Räknar man på global klimatpåverkan av konverteringen så är även den positiv oavsett hur man antar att tillkommande el för värmepumpar produceras.

Konverteringar i flerbostadshus och lokaler kan vara betydligt dyrare. Här avgör möjligheten att bygga ut fjärrvärme till låga kostnader vilka konverteringar som blir möjliga. Möjligheterna till konverteringar innebär att cirka 0,2 Mton koldioxid i Sverige kan försvinna.

Effektivare elanvändning

Möjligheterna att effektivisera energianvändningen – särskilt elanvändningen – har analyserats. Vi har funnit ett flertal tekniskt långlivade åtgärder som genererar en intäkt, någon åtgärd har en låg kostnad och ytterligare andra åtgärder har tämligen höga kostnader. Den beräknade kostnadens storlek beror på hur man räknar att elen produceras. Koldioxidreduktionen kan komma att ske utanför Sverige. Bland de billigaste åtgärderna återfinns tilläggsisolering av fasad vid ett naturligt utbytestillfälle (då renovering av fasad ändå ska göras). Bland de dyraste åtgärderna ingår att byta fönster fastän de befintliga fönstren fortfarande är i gott skick.

Fyra typer av effektiviseringsåtgärder i småhus innebär inte några kostnader för utsläppsreduktion, d.v.s. energivinsten överstiger investeringskostnaden. Dessa är tilläggsisolering av fasad, tätning av fönster och dörrar, frånluftsvärmepump samt komplettering av fönster med en tredje ruta. Vindsisolering kostar mellan 200-500 kr/ton koldioxid beroende på om man antar kolkondenskraftverk eller

naturgaskraftverk på marginalen. Därefter följer fler fönsteråtgärder och FTX-aggregat (återvinner värme ur ventilationsluften) vilka i denna beräkning blir mer kostsamma – mellan 700 och 3 800 kr/ton beroende på åtgärd och beräkningsförutsättningar.

I flerbostadshus och lokaler är vindsisolering, FTX-aggregat, injustering av värmesystem och driftsoptimering av ventilationen åtgärder som genererar intäkter. Komplettering av fönster är billigt – mellan 15-30 kr/ton koldioxid. Dyrast är att byta fönster som en energiåtgärd utan att fönstren är uttjänta.

Det är svårt att uppskatta storleken på adderbara effektiviseringsåtgärder i elvärmda bostäder och lokaler. Vi bedömer att det kan röra sig om någonstans mellan en och två miljoner ton koldioxid i eller utanför Sverige kopplat till de renoveringar som görs under tidsperioden fram till år 2020.

Osäkerheter i beräkningarna och möjligheterna att realisera potentialerna

Potentialer och kostnader är ofta svåra att uppskatta. Vi bedömer att den största osäkerheten i beräkningarna är hur förändringar i energipriserna kan påverka resultatet. Främst är relativpriserna mellan olja och andra energislag avgörande för hur åtgärderna för konvertering av uppvärmningssystem kan komma att falla ut. Även elpriset avgör ekonomin för effektiviseringsåtgärderna.

Det bör också poängteras att de beräkningar som gjorts bygger på genomsnittliga kostnader för typiska hus. Varje byggnad har olika förutsättningar och åtgärder görs lämpligen genom att flera åtgärder görs samtidigt i samband med t.ex. renovering och ändring av byggnaden. Eftersom syftet är att redovisa möjligheter och kostnader sammantaget i Sverige är inte detta något stort problem. Däremot är det så att en rad åtgärder "lönar sig" ekonomiskt, men de genomförs inte p.g.a. informationsbrist eller att byggnadsägaren inte har incitament till förändring t.ex. eftersom hyresgästen betalar energinoten. Åtgärds-möjligheterna kanske inte realiseras p.g.a. dessa hinder. Styrmedel kan bidra till att överbrygga hinder.

Hur man räknar att elen har producerats påverkar starkt storleken på åtgärds-kostnaden, men det påverkar inte om en åtgärd medför intäkt eller kostnad att genomföra. Om en s.k. FTX-enhet installeras innebär eleffektiviseringen en kostnad på 700 kr/ton givet att kolkondens finns på marginalen i elsystemet, men åtgärden är dubbelt så dyr – 1400 kr/ton om man antar att elen på marginalen baseras på naturgas.

Naturligtvis finns en osäkerhet kring potentialerna – t.ex. i hur många byggnader det är möjligt att göra en viss åtgärd. Här har vi dock haft en viss försiktighet, t.ex. i vad vi räknar som adderbara åtgärder. Det är mer sannolikt att vi underskattat än överskattat potentialerna härvidlag.

Internationella styrmedel, såsom energideklarationer, kan med fördel användas för bostäder och lokaler men åtgärdernas exakta utformning beror mycket på de

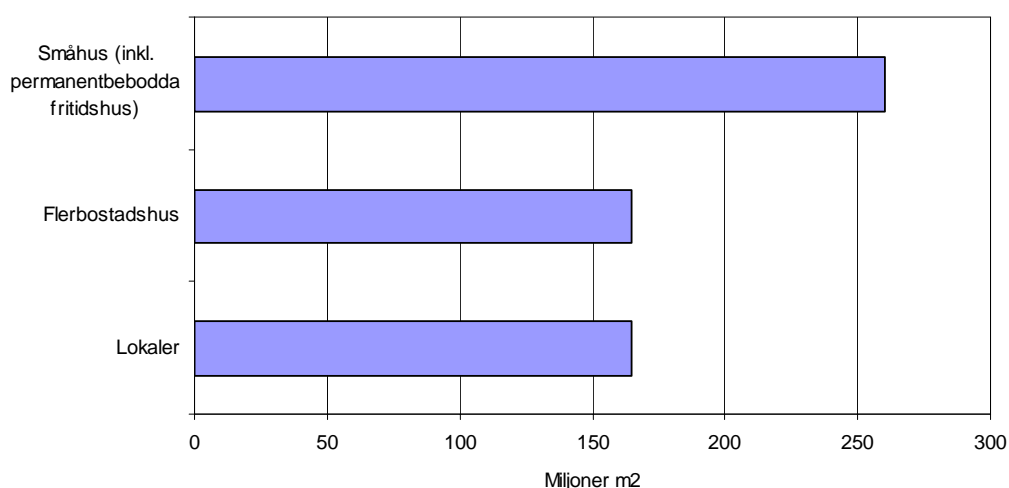
svenska temperaturförhållandena och våra nuvarande tekniska system. Lämplig isolertjocklek i Sverige är t.ex. inte densamma som i andra länder. Vi har också mer elvärme och fjärrvärme än många andra länder.

4.2 Utsläppstrender, prognoser och drivkrafter

I denna rapport behandlas de utsläppskällor som redovisas som förbränning inom sektorn bostäder och lokaler, exklusive jordbruk. Indirekta utsläpp från sektorns efterfrågan på el och fjärrvärme belyses också.

4.3 Sektorns utveckling och utsläpp

I Sverige finns cirka 1,5 miljoner småhus (exklusive småhus på lantbruksfastighet), 2,4 miljoner lägenheter och 165 miljoner kvadratmeter lokalyta.⁸³ Småhusen står för knappt hälften av den uppvärmda arean i Sverige och flerbostadshus och lokaler representerar vardera cirka en fjärdedel av arean. Den totala uppvärmda arean har ökat något sedan 1990, men de senaste åren har den varit i stort sett oförändrad.



Figur 20 Uppvärmad area i bostäder och lokaler år 2005

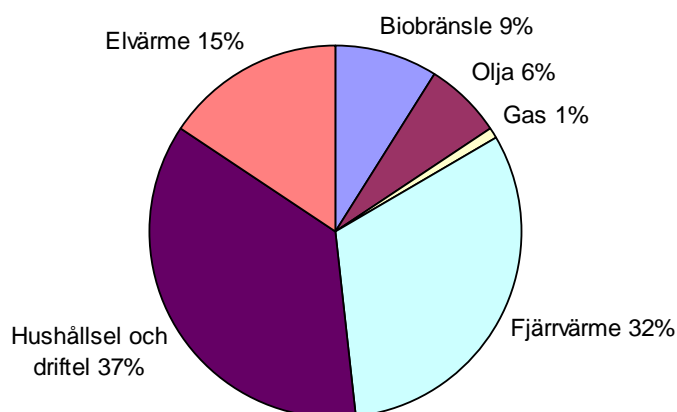
Källa: SCB EN16SM0604

Utsläppen av växthusgaser i sektorn bostäder och lokaler består av direkta utsläpp från uppvärmning och varmvattenproduktion med fossila bränslen (olja och gas). Utsläppen har minskat kraftigt och ligger idag på en låg nivå. Indirekt påverkar energianvändningen i bostäder och lokaler också mängden utsläpp i energiindustrin. Det kan ses som indirekta utsläpp från uppvärmning och varmvattenproduktion med el och fjärrvärme samt drif och hushållssom hushåll och servicenäring konsumerar.

⁸³ SCB (2005)

4.3.1 Energi i bostäder och lokaler

I bostäder och lokaler användes år 2005 ca. 85 TWh för uppvärmning och varmvatten medan ca. 48 TWh användes för drift av apparater och installationer. Användningen motsvarar ungefär en tredjedel av Sveriges totala slutliga energianvändning.



Figur 21 Energianvändningen 2005 i bostäder och lokaler fördelat på energibärare

Källa: SCB EN16SM0604

Användningen av energi för uppvärmning påverkas av aktuella temperaturförhållanden, vilket leder till betydande variationer i energiefterfrågan mellan olika år.

Energianvändningen per kvadratmeter har minskat något de senaste åren. Flera faktorer har bidragit till minskningen. En orsak är övergång från olja till el och fjärrvärme vilket får till följd att förlusterna vid värmeproduktion inte sker i bostadssektorn utan i energiomvandlingssektorn. Om olja ersätts med elvärme eller fjärrvärme minskar därför den slutliga energianvändningen i sektorn bostäder och lokaler.

Fördelningen mellan olika energibärare har förändrats mycket över tid. År 2005 uppgick den direkta användningen av fossila bränslen i sektorn bostäder och lokaler till 10 TWh jämfört med nästan 50 TWh 1983. Nedgången för fossila bränslen beror till stor del på en övergång från olja till el, fjärrvärme och biobränslen, till exempel pellets för uppvärmningsändamål.

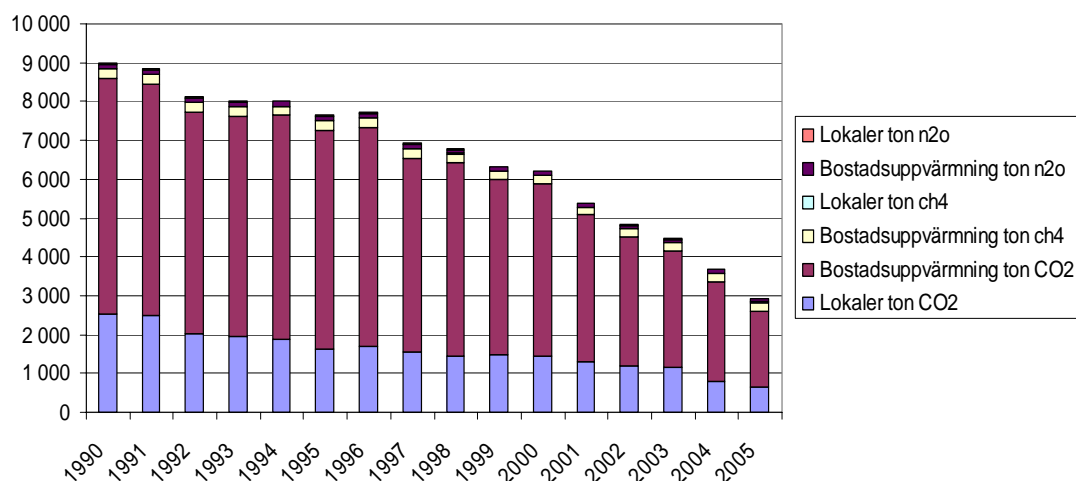
Användningen av hushållsel påverkas av två motsatta trender. Den ena är att fler apparater används i hushållen, framförallt hemelektronik såsom TV, dator m.m. Samtidigt minskar elanvändningen för vitvaror. De senaste åren har dessa faktorer tagit ut varandra så att användningen av hushållsel varit konstant.

Trenden de senaste åren är att energiåtgången för uppvärmning räknat per ytenhet har minskat för småhus och lokaler, men är oförändrad i flerbostadshus.⁸⁴ Räknar man in de omvandlingsförluster som härrör från sektorns användning så syns också en viss minskning. Orsaker kan vara energieffektivisering och ökad användning av värmepumpar. Bakomliggande faktorer är ökande priser och skatteökningar.

4.3.2 Historiska utsläpp - direkta utsläpp från bostäder och lokaler

År 2005 var de direkta utsläppen av växthusgaser cirka 2,9 ton från uppvärmning av bostäder och lokaler. Merparten kommer från förbränning av olja i småhus, men i viss mån bidrar också oljeanvändning i flerbostadshus och lokaler samt användning av naturgas. Totalt använder cirka 100 000 småhus enbart olja för uppvärmning.

Det har skett en minskning av utsläppen med ungefär 70 % jämfört med år 1990. Minskningen beror främst på en övergång från olja till fjärrvärme och under senare år även till värmepumpar och pellets. Den totala användningen av fossila bränslen har minskat kraftigt. År 2005 hade ungefär 6 % av småhusen olja som enda uppvärmningskälla och andelen småhus med kombinerade värmesystem där olja kan användas var ungefär lika stor. Den positiva utvecklingen beror främst på energi- och koldioxidskatten, oljeprisökningar och också på investeringsbidrag för anslutning till fjärrvärmenätet. I denna sektor syns därför en neråtgående trend avseende utsläppen av koldioxid motsvarande drygt 4 % per år eller ungefär 6 miljoner ton koldioxidekvivalenter totalt mellan 1990 och 2005.



Figur 22 Växthusgaser direkt från bostäder och lokaler i koldioxidekvivalenter

I diagrammet ingår enskild förbränning för uppvärmningsändamål i bostäder och lokaler. Jordbruk eller arbetsmaskiner ingår inte.

⁸⁴ Energimyndigheten (2006a)

Trenden att gå ifrån olja för uppvärmning har ytterligare förstärkts de senaste åren. Mellan 2004 och 2005 minskade oljeanvändningen för uppvärmning med hela 32 % på ett år. Den främsta förklaringen är att många småhus övergett oljan för att istället använda värmepump och biobränslen, till exempel pellets. Bio-bränsleanvändningen i bostäder och lokaler ökade med drygt 10 % mellan 2004 och 2005, och uppgick år 2005 till 12 TWh. Det höga oljepriset (inklusive skatter) kan också ha bidragit till att olja inte använts i kombipannor samt att energieffektiviserande åtgärder kan ha genomförts. 2005 var också varmare än år 2004. Minskningen av användningen av eldningsolja har fortsatt under 2006.

4.3.3 Indirekta utsläpp - koldioxidutsläpp från el- och fjärrvärme-sektorn

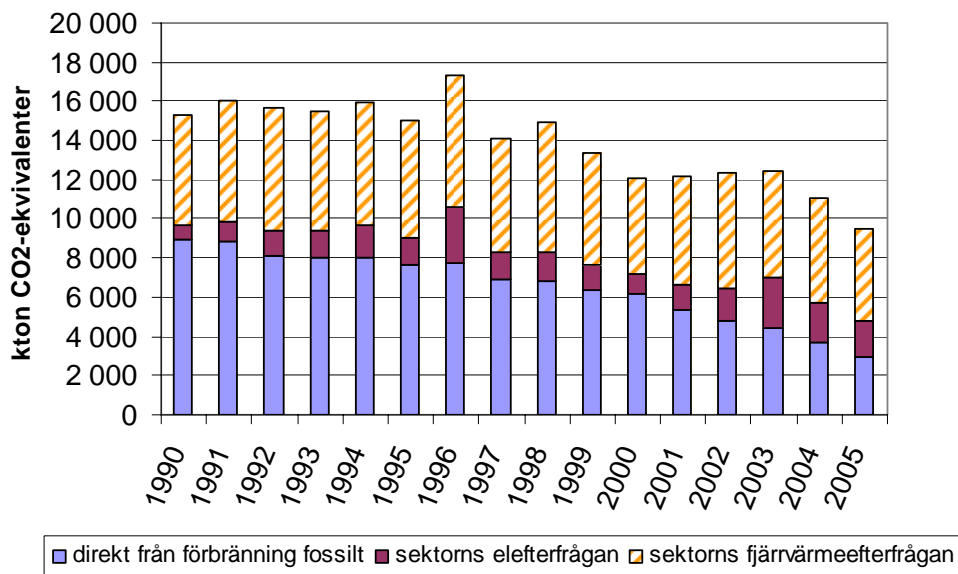
En del av minskningen som skett i de direkta utsläppen beror på att enskild uppvärmning ersatts med fjärrvärme eller el. För att säkerställa att inte utsläppen enbart flyttat från en sektor till en annan - i det här fallet till energiindustrin - analyserar vi även de indirekta utsläppen som härrör från sektorns totala energianvändning.

Förutom de direkta utsläppen från förbränning i bostäder och lokaler står sektorn för en del av efterfrågan på el och fjärrvärme. Bostäder och lokaler står för hälften av elanvändningen i Sverige (eller cirka 72 TWh) och cirka 80 % av fjärrvärmeanvändningen (d.v.s. nästan 42 TWh år 2005).

Det kan konstateras att trots att användningen av fjärrvärme har ökat under perioden 1990-2005, bl.a. som en följd av konvertering från olja i bostäder och lokaler, har utsläppen av växthusgaser inte ökat från fjärrvärmen. Det beror på att expansionen främst skett genom en ökad användning av biobränslen, vilket analyseras mer i detalj i kapitel 6.

För att illustrera energianvändningens miljöpåverkan redovisas här egna beräkningar utifrån utsläppsstatistik. En uppdelning görs på dels direkta utsläpp från oljeeldning i bostäder och lokaler och dels indirekta utsläpp som sker i Sverige⁸⁵. De indirekta utsläppen är beräknade som sektorns andel av efterfrågan och därmed av utsläppen från energiindustrin i Sverige.

⁸⁵ Denna metod ska inte blandas ihop med miljövärdering av el utifrån s.k. marginalet. Här redovisas endast utsläpp från svenska energianläggningar.



Figur 23 Utsläpp av koldioxid från bostäder och service (enl. utsläppsstatistik) och byggnadernas andel av el- och fjärrvärmerelaterade utsläpp (egna beräkningar)

Adderar man de direkta och indirekta utsläpp som sker i Sverige och härrör från energianvändningen i bostäder och lokaler, så har dessa minskat kraftigt trots en något ökad uppvärmd byggnadsarea i Sverige sedan år 1990. Utsläppen varierar något år från år beroende på temperaturen och uppvärmningsbehovet men har sammantaget minskat med cirka 40 % mellan 1990 och 2005.

4.3.4 Drivkrafter för utvecklingen

För att förstå den historiska utsläppsutvecklingen och för att kunna bedöma förutsättningarna för att ytterligare åtgärder kan vidtas så behövs en bild av energianvändningen i sektorn samt en analys av vilka drivkrafterna är i sektorn. De viktigaste drivkrafterna bedöms vara den privata konsumtionen, servicesektorns tillväxt, energipriserna och tekniska förändringar. Variationerna i utomhustemperaturen leder till variationer år från år i energianvändning och utsläpp, men är inte en drivkraft i egentlig mening för den långsiktiga utvecklingen. Olika aktörer har olika förutsättningar för sitt agerande. Deras samspel och incitament påverkar därför också energianvändningen.

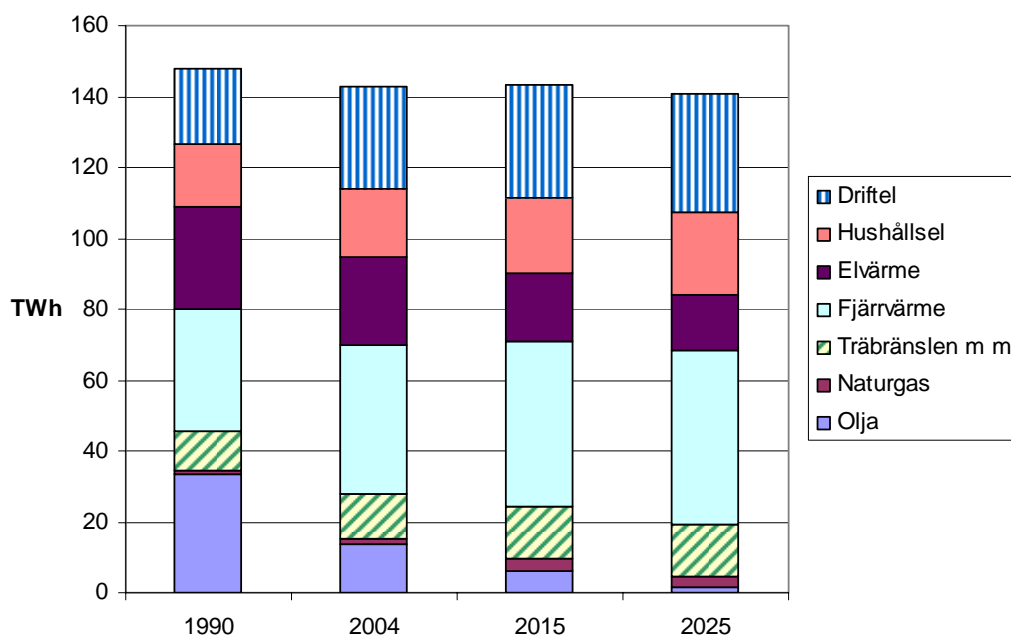
4.3.5 Prognos över framtida utsläpp

De direkta utsläppen från övrigsektorn (utsläpp från bostäder, lokaler samt jordbruk, skogsbruk och fiske) väntas fortsätta minska till 2015 och 2025. Minskningen beror på att olja för uppvärmning och varmvatten i bostäder och lokaler väntas bli konverterade till andra uppvärmningsformer. Dessutom beräknas den totala energianvändningen vara oförändrad till år 2015 och minska något i sektorn till år 2025.

Under perioden 2010-2020 bedöms installationen av värmepumpar öka ytterligare och oljeanvändningen minskar till fördel för el, biobränsle och fjärrvärme, vilket ger mindre utsläpp direkt från sektorn och lägre slutlig energianvändning. Ökad energieffektivisering genom åtgärder som ökad isolering och byte till mer energieffektiva fönster väntas också minska uppvärmningsbehovet. Samtidigt ökar nybyggnationen, vilket motverkar minskningen.

Koldioxidutsläppen står för ca. 90 % av de totala utsläppen från bostäder och lokaler. Dessa utsläpp väntas minska med 90 % mellan år 1990 och 2020. Utsläppen av metan och dikväveoxid är små men förbränning i bostäder och lokaler är den största källan i energisektorn för utsläpp av metan. Enligt prognosen förblir utsläppen av metan oförändrade mellan 1990 och 2020 medan dikväveoxid nästan halveras under perioden.

Energianvändningen i bostäder, service m.m. bedöms i den senaste prognosen givet de antaganden som gjorts där att ha följande utveckling till år 2015 och 2025 (normalårskorrigerad energianvändning för uppvärmning inklusive elvärme).



Figur 24 Prognos över energianvändningen i bostäder, service m.m.

Prognosen pekar på att användningen av olja för uppvärmning minskar från dagens cirka 13 TWh (år 2004) till knappt 1,4 TWh år 2025. Främsta drivkrafterna är relativt sett höga oljepriser. Vilka uppvärmningsformer som väljs istället styrs i hög grad av bränslepriserna, t.ex. antas biobränslepriserna vara relativt höga varför ingen större expansion sker.

Den slutliga energianvändningen (normalårskorrigerad) bedöms minska med cirka 2 % från år 2004 till år 2025.

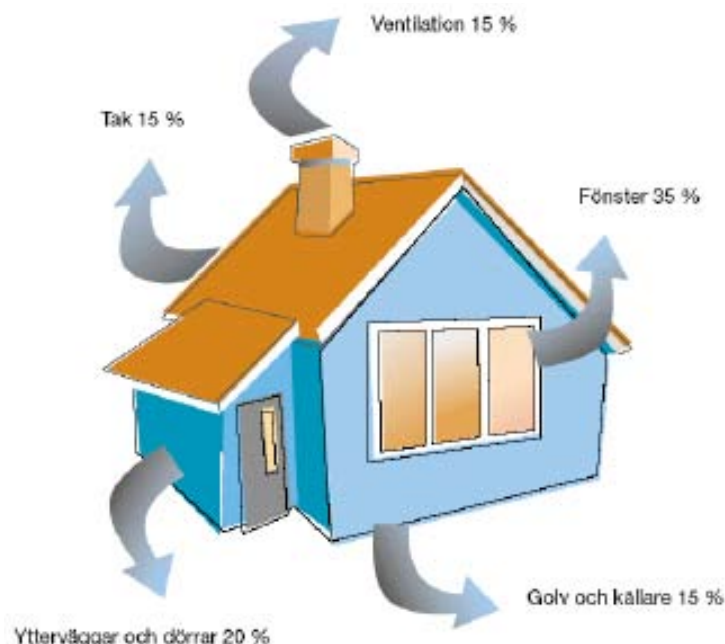
Elanvändningen väntas inte öka såsom de senaste femton åren. Driftel och hushållsel beräknas öka med 15 respektive 20 %, men samtidigt minskar elvärmen, vilket sammantaget ger lägre elanvändning i sektorn.

Prognosen ger också en bild av utsläppen från el- och fjärrvärmeproduktion av vilka en del härrör från efterfrågan på energi i bebyggelsesektorn - det vill säga de indirekta utsläppen. Enligt prognosen kommer koldioxidutsläppen från elproduktion öka kraftigt de kommande åren, 2015 är de nästan fyra gånger högre än 1990. Koldioxidutsläppen från hetvattenproduktion är relativt konstant under det kommande decenniet i prognosen vilket innebär att utsläppen år 2015 är 10-15 procent under nivån 1990. Mer detaljer kring dessa prognoser framgår av kapitel 6.

4.4 Åtgärdsalternativ och åtgärdskostnader

Åtgärderna för att minska utsläppen av växthusgaser från bostäder och lokaler består dels av att minska de direkta utsläppen genom minskad användning av olja och gas för uppvärmning och dels av att minska de indirekta utsläppen genom effektivare användning av energi. Det senare leder till minskad användning av exempelvis el och fjärrvärme. Utsläppsminskningen beror då på produktionsförhållandena för el och fjärrvärme.

Åtgärderna kan bestå av konvertering från ett energislag eller energibärare till ett annat – t.ex. från olja till fjärrvärme. Vidare kan åtgärderna innebära en effektivare energianvändning i husets klimatskal – väggar, fönster, golv, tak – eller val av effektivare teknik i hushållet.



Figur 25 Ungefärlig fördelning av värmeförluster från ett småhus

Källa: Energimyndigheten (2006b).

I denna rapport beskrivs konverteringar från olja samt effektivisering i klimatskal. Listan över åtgärdsalternativ för energieffektivisering är inte heltäckande. Fokus ligger främst på tekniska åtgärder med lång livslängd, eftersom redovisningen syftar till att belysa möjligheterna att på medellång och lång sikt minska klimatpåverkan. Även val av teknik för t.ex. vitvaror har en tämligen lång livslängd – cirka 15 år – men data som visar kostnader finns inte tillgängliga i dagsläget.

4.4.1 Beräkningsförutsättningar

Uppgifter om åtgärds-kostnader och utsläppsreduktioner är hämtade från Elforsk (2005) och därtill hörande databas. En rad beräkningsförutsättningar har dock anpassats till syftet med denna rapport. En samhällsekonomisk ränta om 4 % har använts. Åtgärdernas livslängd bygger på standardiseringsorganisationen CENs utkast till förslag för livslängdsberäkningar⁸⁶. Varje åtgärd har därför egen livslängd till skillnad från Elforsk som antog en ekonomisk livslängd för varje aktör, d.v.s. en för småhus, en för flerbostadshus och en för lokaler.

Dagens energipriser har antagits d.v.s. de genomsnittliga priserna för hushåll och lokaler som gällde 1 jan 2007. För fjärrvärme används en beräknad produktionskostnad som bygger på Elforsk (2005).

Tabell 10 Beräkningsförutsättningar – energipriser januari 2007 respektive beräknad produktionskostnad för fjärrvärme

Energislag	Antaget pris exkl. skatt
Eldningsolja ⁸⁷	372 kr/MWh
Fjärrvärme ⁸⁸	450-537 kr/MWh
Pellets ⁸⁹	380 kr/MWh
Elvärme ⁹⁰	757 kr/MWh
Naturgas ⁸⁷	500 kr/MWh
El utan elvärme ⁹¹	943 kr/MWh

De åtgärder som redovisas utgår ifrån att någon typ av teknisk utrustning blivit föråldrad och ett naturligt utbyte sker. När en oljepanna är gammal väljer fastighetsägaren om denne ska köpa en ny oljepanna (med lite bättre verkningsgrad) eller ansluta sig till fjärrvärme. Både kostnader och minskade utsläpp är beräknade för de alternativ som finns vid nyinvestering. Merkostnaden blir då verkligen en merkostnad för miljöåtgärden.

⁸⁶ CEN Workshop Agreement 27

⁸⁷ Underlag till kommande Energiindikatorer 2007

⁸⁸ Egna beräkningar baserade på produktionskostnader antagna i Elforsk (2005).

⁸⁹ Pellets i bulk i jan 2007 enligt www.afabinfo.se (exklusive moms egen beräkning)

⁹⁰ Källa: SCB. Elpris inkl nätavgift exkl. skatt och moms, årsförbrukning 20 000 kWh. Medelvärde av priset 15 jan 2007 och 15 juli 2006.

⁹¹ Källa: SCB. Elpris inkl nätavgift exkl. skatt och moms, årsförbrukning 3500 kWh. Medelvärde av priset 15 jan 2007 och 15 juli 2006.

Fram till år 2020 är endast en del av alla framtida tekniska åtgärder möjliga, eftersom vi enbart studerar åtgärder som vidtas i samband med ett naturligt utbyte av utrustning. Genomförs inte dessa åtgärder vid t.ex. renoveringar så har man missat möjligheten och den återkommer inte förrän kanske om några decennier eftersom byggnadskomponenter har en lång livslängd.

För åtgärder som innebär en minskad användning av el redovisas flera resultat för att visa på osäkerheten i vad som händer i elproduktionen i Norden eller Nordeuropa. Både ny kolkondenskraft och ny naturgaskombikondens⁹² har använts som marginalel. Dessutom anges kostnaden per kWh utan omräkning till koldioxidutsläpp.

Beräkningar görs för ett typiskt hus. Småhuset antas vara 125 m², byggt före 1970, ligga mitt i landet och därmed ha ett genomsnittligt värmebehov på 20 MWh för värme och varmvatten (d.v.s. exklusive hushållsel). Även flerbostadshus och lokaler utgår ifrån en genomsnittlig typfastighet.

För enkelhets skull beräknas enbart koldioxidreduktionen som följd av olika åtgärder, inte minskade utsläpp av metan och lustgas. Utsläppen av koldioxid är cirka 90 % av både direkta och indirekta utsläpp från sektorn.

4.4.2 Minska användningen av fossila bränslen i befintliga byggnader

Konvertera olja till andra energislag

Åtgärderna för att minska oljeanvändningen består av att konvertera från olja till något annat energislag, till exempel pellets, berg/jord/sjö-värmepump eller fjärrvärme. Konverteringen går redan nu i snabb takt, jämfört med år 2000 har antalet småhus som värms med enbart olja halverats, och uppgick 2005 till cirka 100 000. Dessutom tillkommer cirka 60 000 småhus som värms med olja i kombination med el.

Potentialen för konvertering från olja i småhus bedöms vara 117 000 småhus. Detta baseras på antalet hus som värms med enbart olja eller olja och el år 2005 minskat med antal ansökta konverteringsbidrag till och med februari 2007. (46 000 småhusägare har ansökt om konverteringsstöd från olja till och med februari 2007).

Vi bedömer att samtliga hus som värms med olja alternativt olja och el kan konverteras till pellets eller bergvärmepump. Däremot är antalet hus som kan konvertera till fjärrvärme betydligt mindre eftersom alla småhus inte har tillgång till fjärrvärmenät. Just nu pågår utbyggnad av fjärrvärme till befintliga småhus, bland annat i Stockholmsområdet och vi antar i beräkningarna att 15 % av de oljevärmade småhusen har möjlighet att konvertera till fjärrvärme på samma sätt som K-konsult (2007) antar. Detta ger en potential på cirka 17 500 småhus.

⁹² Detta är samma beräkningsförutsättning som användes i Elforsk (2005).

Tabell 11 Enskilda konverteringsåtgärder i småhus

Åtgärd i småhus (vid naturligt utbyte)	kr/ton CO₂	Möjligt antal åtgärder
<i>Olja mot fjärrvärme (fjärrvärmemix med 50 % avfallskraftvärme, 50 % naturgaskraftvärme)</i>	Intäkt	17 500
<i>Olja mot fjärrvärme (helt biobränslebaserad fjärrvärme)</i>	Intäkt	17 500
<i>Olja mot pelletspanna</i>	900	117 000
<i>Olja mot pellets där enbart brännaren byts ut</i>	500	117 000
<i>Olja mot bergvärmepump</i>	intäkt naturgasel intäkt kolkondensel	117 000

Resultaten varierar kraftigt beroende på vilka energipriser som antas. Ett lägre eller ett högre oljepris kan slå så att åtgärden går från hög kostnad till negativ kostnad.

För konverteringen från olja till fjärrvärme har två beräkningsalternativ tagits fram. I den ena antas att inga styrmedel finns som leder till att koldioxidreducerande åtgärder vidtas i fjärrvärmesektorn, utan en ”referensfjärrvärme” bestående av hälften naturgaskraftvärme och hälften avfallskraftvärme används. I det andra fallet antas att åtgärder har vidtagits i fjärrvärmerna, så att biobränslebaserad kraftvärme utgör såväl bas för utsläppsberäkningen som för produktionskostnaden.

Utifrån redovisningen av olika möjligheter att gå från uppvärmning med olja, så kan noteras att konvertering från olja till fjärrvärme är den åtgärd som samtidigt ger en intäkt samhällsekonomiskt och som har förhållandevis stor koldioxidreduktion per småhus. Denna åtgärd väljer vi därför först och fyller sedan på med konverteringar mot bergvärmepump för resterande oljeanvändning för att få adderbara åtgärder i småhusen.

Tabell 12 Adderbara åtgärder för konvertering från olja i småhus

Åtgärd för konvertering i småhus	kr/ton CO₂	Möjliga åtgärder	Global CO₂-reduktion
Olja mot fjärrvärme	intäkt	17 500 st.	0,03 Mton (vid 50 % naturgaskraftvärme 50 % avfallskraftvärme) eller 0,12 Mton (vid 100 % biobränsle)
Olja mot bergvärmepump	intäkt	99 500 st.	0,41 Mton (vid naturgaskondens) eller 0,13 Mton (vid kolkondens)

Sammanfattningsvis beräknas en övergång från oljeeldning i småhus motsvarande en *global* utsläppsreduktion på cirka 0,44 Mton koldioxid vara möjlig till

en negativ kostnad givet de energipriser som använts i beräkningarna. Den potentiella reduktionen i Sverige summerar till cirka 0,8 Mton koldioxid (d.v.s. ingen oljeanvändning i något av de 117 000 småhusen) givet att tillkommande elbehov för värmepumparna inte innebär en ökad elproduktion i Sverige och att fjärrvärmestillskottet är biobränslebaserat.

Det är inte möjligt att med säkerhet säga om det finns förutsättningar för samtliga oljevärmda småhus att konvertera till bergvärmepump. I vissa fall kan det vara långt ner till berg så att kostnaden för borrhning blir högre än vad vi beräknat som genomsnittskostnad. Denna osäkerhet påverkar inte potentialens storlek, men om oljekonverteringen istället ska ske till pellets så leder det till kostnader på minst 500 kr/ton koldioxid.

Användningen av olja i flerbostadshus och lokaler är mer begränsad än i småhus. Även här finns dock ett flertal möjligheter till konvertering. Investerings-, drifts- och underhållskostnader är enligt Elforsk högre i flerbostadshusen än för småhusen vilket förklarar de högre åtgärdskostnaderna. Det handlar bl.a. om kostnader för drifts- och underhållspersonal.

Tabell 13 Enskilda konverteringsåtgärder i flerbostadshus och lokaler

Åtgärd vid naturligt utbyte i flerbostadshus och lokaler	kr/ton CO₂	Möjligt antal åtgärder i flerbostadshus⁹³	Möjligt antal åtgärder i lokaler
<i>Olja mot fjärrvärme (fjärrvärmemix med 50 % avfallskraftvärme, 50 % naturgaskraftvärme)</i>	Intäkt	3,3 milj. m ²	6,6 milj. m ²
<i>Olja mot fjärrvärme (helt biobränslebaserad fjärrvärme)</i>	100 kr	3,3 milj. m ²	6,6 milj. m ²
<i>Olja mot pelletspanna</i>	1400 kr	3,3 milj. m ²	6,6 milj. m ²
<i>Olja mot bergvärmepump</i>	1300 naturgasel 3000 kolkondensel	3,3 milj. m ²	6,6 milj. m ²
<i>Olja mot luft/vattenvärmepump</i>	1900 naturgasel mycket hög kostnad vid kolkondensel	3,3 milj. m ²	6,6 milj. m ²

Vi antar att två tredjedelar av lokalytan där olja används finns inom tätbebyggt område (skattning baserad på Energiindikatorer 2005a) och att alla flerbostadshus ligger i tätort. Dessa har inga fysiska hinder för konvertering i den mån fjärrvärme byggs ut och räknas därmed in som första och billigaste åtgärder bland de adderbara åtgärderna för konvertering.

⁹³ Enligt SCB, siffror för år 2005.

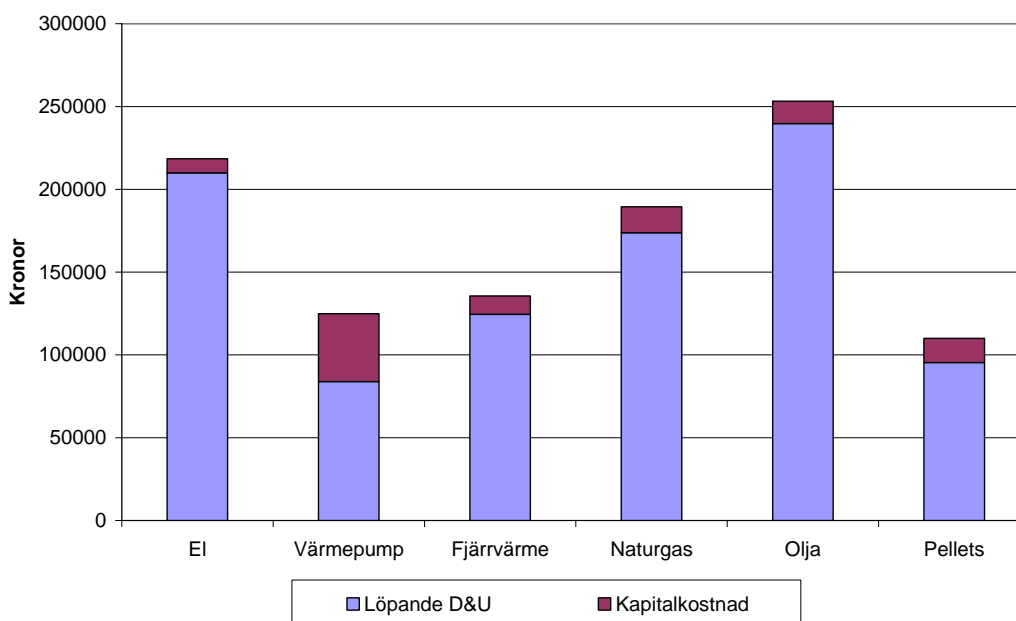
Tabell 14 Adderbara konverteringsåtgärder i flerbostadshus och lokaler

Åtgärd i flerbostadshus och lokaler	kr/ton CO₂	Möjligt antal åtgärder	CO₂-reduktion
Olja mot fjärrvärme i flerbostadshus vid naturligt utbyte	intäkt	3,3 milj. m ²	0,05 Mton
Olja mot fjärrvärme i lokaler vid naturligt utbyte	intäkt	4,4 milj. m ²	0,07 Mton
Olja mot pellets i lokaler	1400 kr	1,1 milj. m ²	0,06 Mton
Olja mot bergvärmepump i lokaler	1300 kr	1,1 milj. m ²	0,04 Mton

I detta fall är ny fjärrvärme baserad på avfall och naturgas en lösning som ger bästa samhällsekonomi och antas i de byggnader som finns i tätort. För lokaler utanför tätort är konvertering till pellets och bergvärmepump likvärdiga. Adderar man samtliga samtidigt möjliga åtgärder för konvertering i flerbostadshus och lokaler så är en koldioxidreduktion på cirka 0,22 Mton möjliga. Det är en global minskning av utsläppen där eventuella ökade utsläpp inom eller utom Sverige inräknats. Utsläppsminskningen i Sverige beräknas till 0,20 Mton av detta.

4.4.3 Konvertering från naturgas till andra energislag

Användningen av naturgas för uppvärmning av bostäder och lokaler är tämligen liten i Sverige. I takt med att utrustningen blir föremål för utbyte finns det dock en potential för konvertering till andra energislag och energibärare. Några exakta beräkningar har inte gjorts för denna rapport. Vi bedömer dock att det kan komma att finnas god ekonomi i konverteringsalternativen på samma sätt som det finns för konvertering från olja. Denna bedömning grundar sig bl.a. på dagens situation vad gäller genomsnittliga kostnader med olika uppvärmningssystem .



Figur 26 Genomsnittlig uppvärmningskostnad uppdelat på löpande kostnader och kapitalkostnad i ett mindre flerbostadshus

Källa: Energimyndigheten, 2006b

4.4.4 Effektiv energianvändning vid nybyggnation

Merkostnaden för att bygga ett energisnålt småhus jämfört med ett traditionellt småhus är cirka 10-15 %⁹⁴. Detta är en grov uppskattning av vad det kostar att bygga ett småhus som klarar 60 kWh/m² och år jämfört med ett traditionellt småhus med energiförbrukning kring 130 kWh/m² och år.

Om man istället skulle bygga ett traditionellt småhus och göra förbättringar av energiprestanda i efterhand skulle det dels bli dyrare och dels skulle man inte kunna nå lika låga värden eftersom vissa parametrar då inte skulle kunna optimeras ur energisynpunkt. Detta gäller till exempel husets orientering i förhållande till väderstreck och fönstrens storlek och placering. Fönstrens storlek och placering är viktig både när det gäller energianvändning för uppvärmning och kylning samt för belysning.

En viktig del i att bygga ett energisnålt hus är att klimatskalet är noggrant tätat. Detta är svårt att göra i efterhand när huset redan är byggt, även om man kan komma en bit på vägen genom att använda till exempel värmekameror för att hitta värmeläckage. Samtidigt finns en risk för problem till exempel fukt vid förändringar av klimatskalet i efterhand. Tilläggsisolering av fasaden är inte alltid möjlig att göra i efterhand (till exempel för tegelfasader) och även om det är tekniskt möjligt kan det vara svårt att genomföra utan att estetiska värden eller byggnadens karaktär går förlorade. Ytterligare en nackdel med att göra energiförbättringar i efterhand är att det kan leda till att värmesystemet blir överdimensionerat i förhållande till det lägre energibehovet. (Men detta kan i

⁹⁴ Energimyndighetens uppskattning, se även NCC (2005).

och för sig åtgärdas vid byte/nyinstallation av uppvärmningssystem som i regel sker cirka vart tjugonde år eller oftare)

Sammanfattningsvis är det mer kostnadseffektivt att bygga energisnålt från början jämfört med att förbättra energiprestandan i efterhand.

4.4.5 Effektivare användning av energi i befintliga byggnader

Åtgärder för effektivare energianvändning skulle på lång sikt kunna påverka utsläppen i Sverige eller i det nordeuropeiska elsystemet.

När det gäller indirekta utsläpp av koldioxid från bostäder och lokaler, d.v.s. utsläpp från el- och fjärrvärmeproduktion, finns följande åtgärdsmöjligheter för den befintliga bebyggelsen:

Minska värmeförlusterna genom förbättrat klimatskal. Exempel på tekniska åtgärder är

- tilläggsisolering av vind
- tilläggsisolering av fasad
- byte till energieffektiva fönster
- komplettering av fönster

Ökad energieffektivitet kan också uppnås genom installation av energieffektiv utrustning. Exempel på sådan utrustning eller åtgärder är

- värmeåtervinning med frånluftsvärmepump
- behovsreglerad ventilation
- driftoptimering av ventilation
- reglersystem för värme
- injustering av värmesystem
- införande av individuell mätning och debitering av värme- och varmvattenförbrukning
- byte av glödlampor till energieffektiv belysning
- byte till energisnåla apparater, till exempel vitvaror

Dessutom kan åtgärder för att minska användningen av varmvatten genomföras, till exempel snålspolande kranar, varmvattenberedare med mindre förluster (mer isolering), solpaneler för produktion av tappvarmvatten men dessa åtgärder har inte kostnadsbedömts eftersom underlag saknas.

Vissa åtgärder syftar enbart till att effektivisera energianvändningen. Andra görs i samband med ett naturligt utbyte av utrustning eller material. På så vis kan en småhusägare byta fönster helt och hållet som energiåtgärd, vilket är dyrt eftersom då hela fönsterkostnaden och installationen ställs mot minskade driftkostnader och minskade indirekta utsläpp. Å andra sidan kan småhusägaren också välja ett fönster med särskilt goda energiegenskaper (U-värde 0,9) istället för ett

genomsnittligt fönster (U-värde 1,3) när fönsterbytet ändå är aktuellt. Miljöinvesteringen blir i detta fall enbart extrakostnaden för det energisnåla fönstret och energibesparingen också enbart skillnaden mellan de två typerna av fönster.

Småhus

Bland de åtgärder som ger mest energieffektivisering per småhus återfinns i fallande ordning värmeåtervinning med FTX-aggregat, frånluftsvärmepump, tilläggsisolering av fasad samt byte av fönster. Åtgärder med lägre potential kan dock ha bättre kostnadseffektivitet såsom tätning av fönster och vindsisolering, eftersom detta är åtgärder med låga initiala investeringskostnader. Det bör noteras att beräkningarna är gjorda på ett typhus med genomsnittlig energiprestanda. Varje hus har olika egenskaper och därmed kan kostnader och intäkter i det enskilda fallet skilja sig från genomsnittet.

Tabell 15 Enskilda åtgärder för effektivare energianvändning i småhus

Åtgärd i småhus	kr/kWh	kr/ton CO ₂ naturgas- kondens	kr/ton CO ₂ kolkondens	Möjligt antal åtgärder
Tätning ⁹⁵ av fönster och dörrar	- 0,7	intäkt	intäkt	-
Tilläggsisolering ⁹⁵ av fasad vid naturligt utbyte	- 0,4	intäkt	intäkt	120 000 hus vid naturligt utbyte
Komplettering av fönster	- 0,03	intäkt	intäkt	380 000 hus ⁹⁶
Byte av fönster som energiåtgärd 2,8 till 0,9 (forcerat utbyte)	0,9	2600 kr	1300 kr	635 000 hus
Energisnålt fönster ⁹⁷ vid naturligt utbyte	1,4	3800 kr	1800 kr	95 000 hus vid naturligt utbyte
Tilläggsisolering av vind	0,17	480 kr	230 kr	600 000 hus
Frånluftsvärmepump	- 0,5	intäkt	intäkt	63 000 hus ⁹⁶
FTX-enhet	0,5	1400 kr	700 kr	25 000 hus

Tätning av fönster och dörrar har negativ åtgärds kostnad men potentialen redovisas inte eftersom uppskattningar av hur många hus som redan gjort denna åtgärd saknas.

Tilläggsisolering av fasad antas bli genomförd i samband med fasadrenovering (annars skulle det bli för dyrt). Fasadrenovering krävs med ett intervall på 40 till 50 år. Under en tioårsperiod genomgår uppskattningsvis 20 % av husen fasadrenovering. I hus med dåligt isolerade väggar, uppskattningsvis cirka 600 000 hus, kan man därför anta att 20 %, d.v.s. 120 000 hus är aktuella för åtgärden.

Fönster kan antingen bytas helt eller kompletteras för att bli bättre ur energisynpunkt. Komplettering kan till exempel gå till så att en tredje ruta monteras på

⁹⁵ Beräknat med Konsumentverkets Energikalkylen

⁹⁶ Källa: Elforsk (2005)

⁹⁷ Egen beräkning baserad på intervju med fönstertillverkare.

insidan av ett tvåglasfönster. Ett annat alternativ är att ta bort den innersta rutan på ett tvåglasfönster och istället montera en lågemissionsruta. Dessa åtgärder innebär en lägre investeringskostnad jämfört med att byta hela fönstret men kräver bl.a. bra kvalitet på fönsterbåge och ram. Enligt Elforsk (2005) skulle cirka 380 000 hus kunna vara aktuella för denna åtgärd.

Med byte av fönster som energiåtgärd avses en investering där fönstren byts ut i förtid enbart för att minska energianvändningen. Uppskattningsvis 635 000 hus skulle kunna genomföra detta, men det innebär en stor investering för husägaren.

En vanligare åtgärd är att byta till energieffektiva fönster när fönsterbyte ändå skall ske (naturligt utbyte). Fönsterrenovering eller byte krävs med ett intervall som ofta överstiger 50 år. Under en tioårsperiod kan man uppskatta att cirka 15 % av husen genomgår renovering eller byte av fönster. I hus med ur energisynpunkt dåliga fönster kan man därför anta att 15 % är aktuella för åtgärden. Detta motsvarar cirka 95 000 hus.

Tilläggsisolering av vind är aktuell i alla hus med dålig isolering på vindsbjälklaget. Detta gäller alla hus byggda före början av 1970-talet som ännu inte har genomfört åtgärden förutom de där det av konstruktionsmässiga skäl är svårt att genomföra. Potentialen uppskattas till 600 000 hus.

Frånluftsvärmepump eller FTX-enhet är två metoder för att återvinna värme ur ventilationen. Potentialen för frånluftsvärmepump är cirka 63 000 hus medan potentialen för FTX är cirka 25 000 hus.⁹⁸

Antalet elvärmda småhus är cirka en tredjedel av samtliga småhus i Sverige. Potentialerna i Tabell 15 ovan gäller samtliga hus medan beräkningarna nedan enbart gäller elvärmda småhus. I de följande beräkningarna har därför potentialen reducerats till en tredjedel. Detta är en grov uppskattning, i själva verket är andelen elvärmda hus olika för de olika åtgärderna, men andelarna saknas, därför används denna uppskattning.

Tabell 16 Adderbara effektiviseringsåtgärder i småhus med elvärme (åtgärder med intäkt)

Åtgärd i elvärmda småhus	CO ₂ -reduktion per hus (ton)	CO ₂ -reduktion inom eller utanför Sverige (naturgaskondens)
Tilläggsisolering av fasad	1,5 ton	0,06 Mton (åtgärden antas genomföras i 40 000 elvärmda hus)
Komplettering av fönster i elvärmda hus	1,1 ton	0,1 Mton (åtgärden antas genomföras i 90 000 elvärmda hus)
Frånluftsvärmepump	1,8 ton	0,03 Mton (åtgärden antas genomföras i 20 000 elvärmda hus)

⁹⁸ Potentialbedömningarna och motiveringarna ovan är, om inte annat anges, hämtade från Energimyndigheten (2005b).

Tabell 17 Adderbara effektiviseringsåtgärder i småhus med elvärme (medelhög åtgärds-kostnad)

Åtgärd i elvärmda småhus	CO ₂ -reduktion per hus (ton)	CO ₂ -reduktion inom eller utanför Sverige (naturgaskondens)
Tilläggsisolering av vind	0,8 ton	0,16 Mton (åtgärden antas genomföras i 200 000 elvärmda hus)

Tabell 18 Adderbara effektiviseringsåtgärder i småhus med elvärme (hög åtgärds-kostnad)

Åtgärd i elvärmda småhus	CO ₂ -reduktion per hus (ton)	CO ₂ -reduktion inom eller utanför Sverige (naturgaskondens)
<i>FTX</i>	2,8 ton	0,02 Mton (åtgärden antas genomföras i 8 000 elvärmda hus)
<i>Energisnålt fönster vid naturligt utbyte (U-värde 0,9 istället för 1,3)</i>	0,2 ton	0,01 Mton (åtgärden antas genomföras i 30 000 elvärmda hus)
<i>Byte av fönster som energiåtgärd (forcerat utbyte där U-värde 2,8 byts ut mot U-värde 0,9)</i>	1,1 ton	0,2 Mton (åtgärden antas genomföras i 180 000 elvärmda hus)

Totalt kan de åtgärder som har negativ åtgärds-kostnad ge utsläppsminskningar på cirka 0,22 Mton. Åtgärder med medelhög åtgärds-kostnad kan ge en minskning på cirka 0,16 Mton och åtgärder med höga åtgärds-kostnader kan ge minskningar med cirka 0,23 Mton. Samtliga potentialer bygger på antaganden att naturgaskombikondenskraft finns på marginalen i elsystemet. Om kolkondens skulle vara på marginalen så skulle åtgärds-potentialerna vara större i koldioxid räknat. Summan av de här redovisade effektiviserings-möjligheterna i småhus blir således cirka 0,6 Mton koldioxid.

Flerbostadshus och lokaler

För flerbostadshus och lokaler är åtgärderna likartade. Tillkommer gör möjligheterna till driftoptimering i en större byggnad och injustering av värmesystemet är en relativt enkel åtgärd som har betydande besparingspotential.

Tabell 19 Effektiviseringsåtgärder i flerbostadshus och lokaler

Åtgärd i flerbostadshus och lokaler	kr/MWh	kr/ton CO ₂ naturgas-kondens	kr/ton CO ₂ kol-kondens	Möjligt i flerbostads-hus	Möjligt i lokaler
Vindsisolering	- 60	intäkt	intäkt	8,1 milj. m2	
Frånlufts-värmepump	190 kr	500 kr	250 kr	4,1 milj. m2	0,8 milj. m2
Värmeväxlare (FTX)	- 300	intäkt	intäkt	32,3 milj. m2	3,2 milj. m2
Nya fönster som energi-åtgärd	600 kr	1800 kr	870 kr	10,8 milj. m2	9,5 milj. m2
Komplettering fönster	11 kr	31	15	10,8 milj. m2	9,5 milj. m2
Injustering värmesystem	- 300	intäkt	intäkt	42 milj. m2	40 milj. m2
Driftoptimering ventilation	-760	intäkt	intäkt	83 milj. m2	135 milj. m2

I flera fall är åtgärderna inte möjliga att utföra samtidigt och få adderbara effekter eller kostnader. I vissa fall genomförs rimligtvis enbart en åtgärd, t.ex. installerar ingen både ett FTX-aggregat och en frånluftsvarmepump. Eftersom vi inte vet om Elforsk (2005) anger samma hus eller olika hus som kan installera FTX respektive luftvarmepump, så tar vi för säkerhets skull enbart med FTX när vi adderar möjliga åtgärder.

I vissa fall blir effekterna mindre för en åtgärd om en annan redan vidtagits. På så vis blir effekten av varmepump mindre om husets värmebehov redan reducerats genom att nya fönster har installerats. Detta är någonting som kan utnyttjas i samband med konvertering så att åtgärder i klimatskalet (tilläggsisolering, fönsterbyte etc.) kan möjliggöra att ett mindre och därmed billigare värmesystem kan köpas. Effekter och kostnader är då annorlunda än de som anges här då ett genomsnittligt värmebehov i ett "typhus" har antagits.

Åtgärder i klimatskalet kan vanligtvis adderas. I vissa fall kan fastighetsägaren sänka värmeförseln efter en åtgärd eftersom brukaren upplever rummen som varmare på grund av minskat drag m.m. när klimatskalet är tätare. Vi tar hänsyn till denna effekt.

I Tabell 20 ges en indikation om vilka åtgärder och utsläppsreduktioner som skulle kunna tänkas vara adderbara.

Tabell 20 Adderbara effektiviseringsåtgärder i flerbostadshus och lokaler med elvärme

Åtgärd i flerbostadshus	kr/ton CO ₂ naturgas-kondens	kr/ton CO ₂ kol-kondens	CO ₂ -reduktion inom eller utanför Sverige
FTX-enhet	intäkt	intäkt	0,6-1,3 Mton
Driftoptimering	intäkt	intäkt	0,1-0,2 Mton

ventilation			
Vindsisolering	intäkt	intäkt	0,01-0,03 Mton
Injustering värme (övriga)	intäkt	intäkt	0,2-0,5 Mton
Komplettering fönster (efter vindsisolering)	31	15	0,05-0,09 Mton
Komplettering fönster (utan vindsisolering)	31	15	0,09-0,18 Mton

Vid summering av de åtgärdsalternativ som tagits med här för energieffektivisering i flerbostadshus och lokaler så beräknas koldioxidreduktionen för adderbara åtgärder ligga mellan cirka 1,1 och 2,3 miljoner ton koldioxid beroende på hur man antar att elektriciteten produceras.

4.4.6 Åtgärdsalternativ och aktörerna

Det finns många aktörer som direkt eller indirekt påverkar användningen av energi i bostäder och lokaler. Aktörer finns såväl på hushållsnivå och fastighetsägarenivå (mikronivå) som på central nivå (makronivå). Aktörerna har olika möjligheter och incitament att påverka och bidra till en effektivare energianvändning och minskad miljöbelastning. För att uppnå detta krävs att alla aktörer är involverade och att de styrmedel och verktyg som används samverkar och styr åt rätt håll.

Entreprenörer och beställare (bygggherrar) är viktiga aktörer vid nybyggnad och ombyggnad/renovering medan förvaltare och hushållen är viktiga aktörer i drift och förvaltningsskedet.

Enfamiljshus utgör nästan halva bostadsbeståndet sett till antal hushåll. Ägare, förvaltare och boende är här en och samma person vilket underlättar möjligheten att påverka energianvändningen i alla led. Samtidigt saknar småhusägare oftast tillräcklig kunskap om energieffektiva lösningar vilket kan innebära att man vid val av tekniska installationer bortser från drifts- och serviceaspekter. Småhusägare har också mindre ekonomiska resurser än stora fastighetsägare att genomföra energibesparande investeringar. Småhusägare tenderar också att i första hand fokusera på den initiala investeringskostnaden istället för att ta hänsyn till investeringens hela livscykel och de kostnadsbesparingar som kommer att uppnås på sikt genom en minskad energianvändning. Nybyggnation av småhus sker ofta av en entreprenör eller en småhusfabrikant som i sin tur säljer husen vidare till en småhusägare, vilket medför att de inte behöver ta konsekvenserna av den långsiktiga förvaltningen av småhusen.

Som hyresgäst kan man oftast endast i marginell omfattning påverka byggnadens energibehov. Val av uppvärmningssystem, innetemperatur, drift och injustering av värmeanläggningar styrs av fastighetsägaren. I Sverige, till skillnad från flera andra länder, är värme och varmvatten ofta inkluderat i hyran. Detta innebär att fastighetsägaren har de ekonomiska incitamenten att minska energianvändningen i uppvärmningssyfte för att minska driftkostnaderna. Men den

enskilda hyresgästen har möjlighet att delvis påverka sin energikonsumtion genom sitt beteende och valet av elanvändande installationer som t.ex. belysning och hushållsapparater i lägenheten. Då elkostnader i de allra flesta fall ligger utanför hyresavgiften har den enskilde hyresgästen incitament att minska användningen av hushållsel. Dock har hyresgästen igen rådighet över vitvaror i bostaden.

Som hyresgäst i en lokalbyggnad t.ex. kontorsverksamhet, skolor, affärer, kan man beroende på hyresavtalets utformning ha möjlighet att påverka sin energianvändning. Elanvändningen kan man oftast påverka genom val av belysning, datorer och annan kontorsutrustning. Hyresgästen kan i samband med tecknandet av hyresavtalet ställa krav på inomhusklimatet och på hur betalningen av el respektive värme ska ske, för detta krävs dock en viss kompetens hos hyresgästen.

Statliga fastighetsägare har stort inflytande över både de tekniska investeringarna som kan ge energismartare byggnader och den yttre och inre boendemiljö som är människors vardag. Till skillnad från enskilda hushåll och små bostadsrättsföreningar har de också mycket större ekonomiska möjligheter att genomföra energibesparande åtgärder.

Slutsatsen blir att inte alla de åtgärder som ger intäkter eller har låga kostnader kan förväntas genomföras. Om inte alla aktörer har kunskap och incitament till förändring, så kan detta utgöra ett hinder även om de privatekonomiska kalkylerna visar på lönsamma åtgärder. Detta bör tas i beaktande vid utformningen och vidareutvecklingen av styrmedel i sektorn.

5 Industrisektorn

5.1 Sammanfattning

- Utsläppen av växthusgaser inom industrin domineras av järn- och stålindustrin som svarar för en tredjedel av sektorns utsläpp. Andra viktiga sektorer är cementindustrin, massa- och pappersindustrin samt kemiindustrin
- Arbetsmaskiner svarar för en icke försumbar del av utsläppen.
- Utsläppen från industrin (inklusive förbränning av hyttgaser för el- och värmeproduktion) beräknas öka med cirka 14 % mellan 2005 och 2020.
- Utsläppen av F-gaser bedöms däremot minska kraftigt som en följd av nya EU-regelverk och förnyad prövning av den befintliga aluminiumindustri-anläggningen
- Utsläpp av i storleksordningen 600-700 kton bör kunna reduceras inom massa- och pappersindustrin till år 2020 främst genom ersättning av olja med biobränslen. Kostnaderna för dessa åtgärder är mycket känsliga för oljepriser och biobränslepriser.
- Vid dagens oljepriser och biobränslepriser kan åtgärdskostnaden i massa- och pappersindustrin vid 4 % realränta vara negativ, vid ett råoljepris kring 26 dollar/fat i storleksordningen 150-550 kronor/ton CO₂
- Massa- och pappersindustrin har också en stor potential för att bidra till minskade utsläpp genom ökad produktion av biobränslebaserad el samt, på sikt, biomassebaserade drivmedel. Potentialen för detta bör vara minst 1,5 Mton CO₂ men det finns studier som visar på ännu större potentialer.
- Inom järn- och stålindustrin bedöms en utsläppsreduktion på 0,5 Mton kunna genomföras till en kostnad under 100 kronor/ton CO₂. Ytterligare åtgärder är möjliga om man kan acceptera kostnader över 400 kronor/ton CO₂.
- Inom cementindustrin bör utsläppen kunna minskas med åtminstone 100 kton/år genom ökad användning av alternativa bränslen med stort innehåll av förnybara råvaror. Om man skulle kunna öka andelen kol som ersätts med förnybara bränslen till 50 % skulle utsläppsreduktionen bli cirka 0,4 Mton/år. Kostnaden för att öka mängden förnybara avfallsbränslen bedöms vara i storleksordningen 100 kronor/ton CO₂.
- Inom övrig industri saknas lika detaljerade åtgärdsanalyser men studier indikerar att utsläppen bör kunna minskas med åtminstone 0,5 Mton CO₂ vid en åtgärdskostnad lägre än 400 kronor/ton CO₂. En stor del av denna potential består av konvertering av oljeeldning till biobränslen. Med oljepriser motsvarande dagens nivå blir åtgärdskostnaden avsevärt lägre och kan till och med vara negativ.

- Vid flera av de större processföretagen är koldioxidutsläppen så stora att de kan vara intressanta för koldioxidavskiljning och deponering om och när den blir tekniskt och miljömässigt användbar. Det gäller oavsett om utsläppen kommer från förbränning av fossila bränslen eller biobränslen. Kostnaden för en sådan åtgärd bedöms vara i storleksordningen 400-500 kronor/ton CO₂.
- Utsläppen av F-gaser bör kunna reduceras med cirka 200 kton jämfört med prognos till en kostnad lägre än 200 kronor/ton
- Det har inom ramen för kontrollstationen inte varit möjligt att analysera förutsättningarna för energieffektivisering i större detalj. Dessa skiljer sig åt på företagsnivå. Det bedöms dock finnas ytterligare utrymme för effektiviseringar av processer och kringutrustning under perioden fram till år 2020.
- Även om kostnaderna för flera av åtgärderna bedöms vara relativt låga, med de beräkningsförutsättningar som används i analysen innebär det inte att dessa är ekonomiskt intressanta för företagen, eftersom man ofta har högre avkastningskrav än vad som använts i våra kalkyler.

5.2 Industrisektorn - struktur, trender och prognostiserad utveckling

5.2.1 Avgränsningar och indelningar

Industrisektorn består av ett stort antal delsektorer med olika karaktär och egenskaper. Vissa sektorer är koldioxidintensiva, andra energiintensiva men med mer begränsade egna utsläpp av växthusgaser. Slutligen har en stor del av industrisektorn relativt låg energianvändning vilket även gäller utsläppen av växthusgaser.

I detta kapitel behandlas de utsläppskällor som traditionellt redovisas som industri inom t.ex. utsläpps- och energistatistik. Det gäller förutom tillverkningsindustri (SNI 15-37) även gruvor (SNI 10-14). Byggnadsindustrin redovisas i energistatistiken inom posten bostäder, service m.m. där även de areella näringarna beskrivs, men i utsläppsrapporteringen redovisas den som en del av industrisektorn. I de sektorsbeskrivningar som görs inom ramen för kontrollstationen väljer vi en funktionell sektorsindelning. Utifrån denna är det logiskt att även behandla byggnadsindustrin som en del av industrisektorn. Raffinaderier redovisas dock inte under industrisektorn utan under energitillförsel.

Arbetsmaskiner har många likheter med tunga fordon som används inom transportsektorn. Trots det hänförs, utifrån vår funktionella indelning, arbetsmaskinerna till de sektorer där de används. Huvuddelen av industrins arbetsmaskiner används inom byggnadssektorn.

I många sammanhang görs en uppdelning mellan de utsläppskällor som för närvarande ingår i EUs handelssystem och de som inte ingår. Vilka källor som ingår i EUs handelssystem kan komma att ändras för kommande handelsperio-

der men i denna rapport används trots det begreppet ”den handlande sektorn” för att beteckna de utsläppskällor som idag ingår i handelssystemet.

Fokus i beskrivningen kommer att ligga på koldioxid som svarar för cirka 90 % av sektorns utsläpp av växthusgaser. Övriga kyotogaser, särskilt F-gaser, kommer också att behandlas. Samtliga F-gaser behandlas i denna sektorsrapport då de i klimatrappporteringen redovisas under industriprocesser, även om en del uppkommer i andra sektorer, t.ex. utsläpp från AC-anläggningar och kyltransporter i transportsektorn samt från stationära kyl/frysanläggningar och värmepumpar i bostads- och servicesektorn.

5.2.2 Industrisektorns utsläpp

Koldioxidutsläppen från industrins energianvändning var 2005 11 Mton, se Tabell 21. Utöver de utsläpp som kopplas till energianvändningen svarar industrin för processutsläpp motsvarande 6,4 Mton. Dessa processutsläpp domineras av utsläpp av kol- och koks som används som reduktionsmedel i metallindustrin samt användningen av dolomit och kalksten inom mineralindustrin. Dessutom ingår i processutsläppen av fluorerade växthusgaser (F-gaser) till 1,2 Mton CO₂ekv. Det finns en rad användningsområden för fluorerade växthusgaser - ”F-gaser”. Den största delen av F-gasutsläppen i Sverige kommer idag från primär aluminiumtillverkning, läckage från kyl/frys- och luftkonditioneringsanläggningar samt värmepumpar, skumplasttillverkning och skumplastprodukter.

Utöver dessa utsläpp uppgick utsläppen från förbränning av masugns gas, LD-gas och koksugns gas, som i den internationella rapporteringen hänförs till el- och värmeproduktionen. Dessa uppgick år 2005 till cirka 3 Mton. Dessa utsläpp har ökat kraftigt mellan 1990 och 2005. Dessutom uppgick utsläppen från fackling och koksverk till cirka 1 Mton år 2005.⁹⁹

Tabell 21 Utsläpp kopplade till industrisektorn 2005

	Utsläpp 2005 Mton CO ₂ ekv
Industrins förbränning	11,0
Processutsläpp	6,4
Masugns gas, koksugns gas, LD-gas	3
Fackling, koksverk	1,0
Summa	21,4

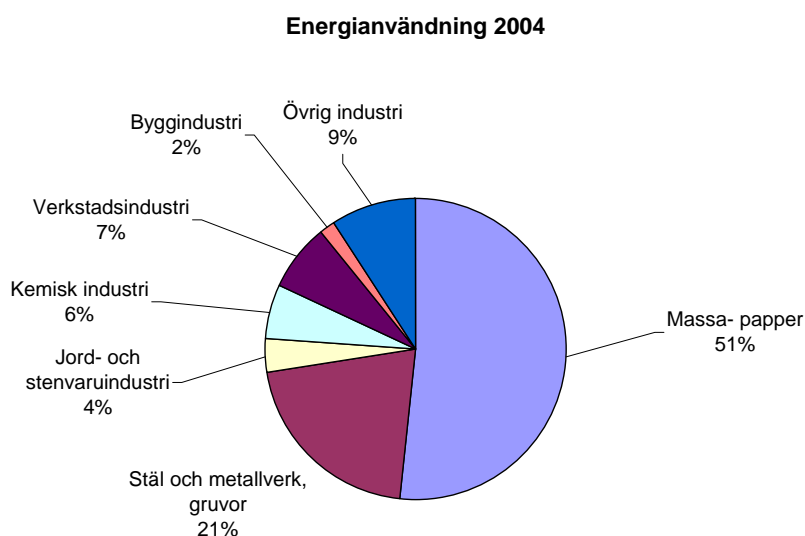
Mindre än en tredjedel av industrins energianvändning är idag fossila bränslen och framför allt inom skogsindustrin dominerar el och biobränslen.¹⁰⁰ Massa-

⁹⁹ Utsläppen kopplade till järn- och stålindustrins verksamhet redovisas med andra ord i fem poster industrins energianvändning, processutsläpp, fackling, utsläpp från koksverk samt utsläpp från el- och värmeproduktionssektorn.

¹⁰⁰ Det bör noteras att även åtgärder som kan reducera elanvändningen och effektivisera utnyttjandet av biomasseresurserna (t.ex. genom ökad samproduktion av el och värme) är viktiga

och pappersindustrin är den helt dominerande industrisektorn vad gäller energi-användning, se Figur 27. De energiintensiva branscherna massa- papper, kemi, järn- stål och gruvor samt jord och stenvaruindustri svarar för 82 % av energi-användningen men bidrar med endast 23 % av industrins förädlingsvärde.

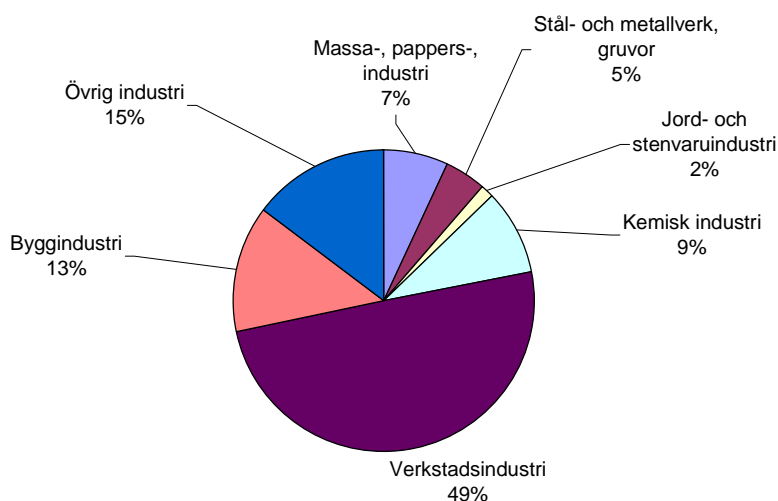
Järn- och stålindustrin den helt dominerande sektorn vad gäller utsläpp av växthugaser, följd av massa- pappersindustrin, cement- och kalkindustrin och den kemiska industrin, se Tabell 22. Tillsammans svarar dessa sektorer för drygt två tredjedelar av industrins utsläpp av växthugaser. Deras andel av industrins förädlingsvärde är dock avsevärt lägre klart mindre än en fjärdedel, se Figur 28.



Figur 27 Industrins energianvändning 2004 fördelat på sektorer

i en övergripande strategi då detta kan möjliggöra utsläppsminskningar i andra sektorer, framför allt el- och värmesektorn.

Andel av industrins förädlingsvärde 2005



Figur 28 Industrins förädlingsvärde 2005 fördelat på branscher

På sektorsövergripande nivå har utsläppen från industrins förbränning och processutsläpp fluktuerat kring en relativt stabil nivå sedan 1990. Däremot har utsläppen från hyttgaser (masugns gas, koksugns gas, LD-gas) som används för el- och värmeproduktion ökat betydligt. Det är framför allt utsläppen från järn- och stålindustrin som har utsläppen ökat betydligt mellan 1990 och 2005. Massa- och pappersindustrin har ungefär lika stora utsläpp idag som 1990. För massa- och pappersindustrin har utsläppen fluktuerat kraftigt under perioden och var ungefär 50 % högre än i mitten av 1990-talet än både 1990 och 2004 beroende på att olja under mitten av 1990-talet var relativt billig jämfört med övriga energislag.

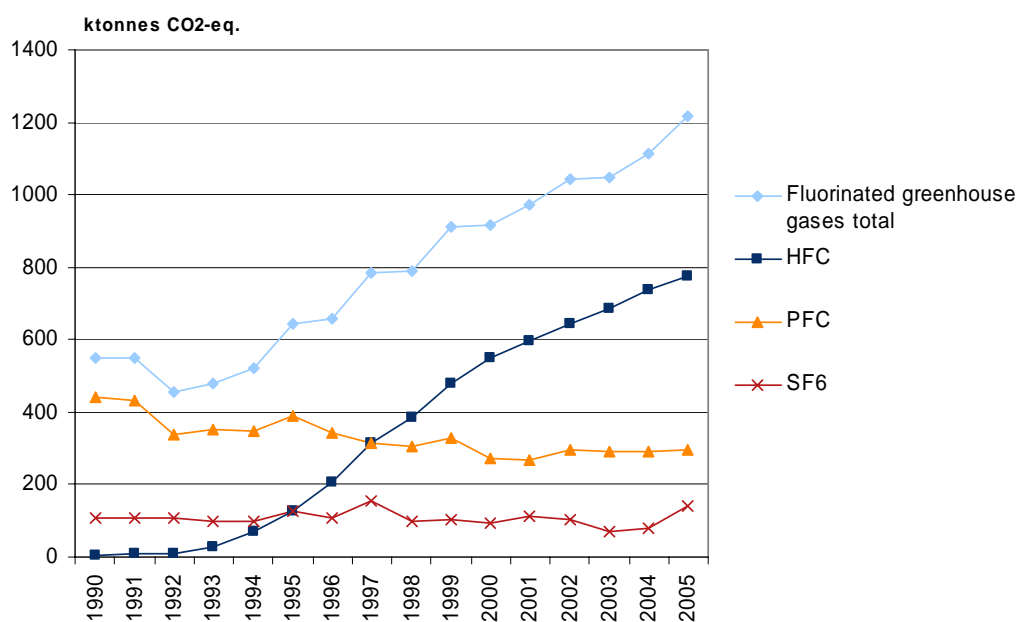
Den största delen av industrins växthusgasutsläpp, ca. 70 %, ingår i den handlande sektorn. De koldioxidutsläpp som ligger utanför handelssystemet är fr.a. arbetsmaskiner samt pannor i mindre och medelstora företag.

Tabell 22 Utsläpp av växthusgaser från industrin år 1990 och 2005 fördelat på sektorer

	Utsläpp 2005 Mton	Utsläpp 1990 Mton	Utsläpps- utveckling 1990-2005
Järn – och stålindustrin	7128	5492	+30 %
Övriga metallverk	633	936	-33 %
Kemisk industri	2108	2100	+0,4 %
Massa och papper	2264	2329	-2,8 %
Livsmedel	621	968	-36 %
Cement och kalk	3772	3756	+0,4 %
Övrig industri	1640	2433	-33 %
F-gas	1215	550	+1209 %
Arbetsmaskiner	1995 ¹⁰¹	Ca 1500	+ 33 %
Summa	21377	20060	+4 %

Utsläppen av F - gaser har ökat från 0,55 Mton 1990 till drygt 1,2 Mton år 2005 räknat som koldioxidekvivalenter, Figur 29. Utsläppen motsvarade knappt 2 % av de totala utsläppen 2005. Ökningen beror framför allt på att utsläppen av HFC ökat kraftigt medan utsläppen av PFC och SF₆ minskar. Ökningen beror på att HFC i många fall ersätter de ozonnedbrytande ämnena CFC och HCFC som köldmedia samtidigt som användningen av kyl- och luftkonditioneringsanläggningar samt värmepumpar ökar.

¹⁰¹ Denna post domineras av byggnadsindustrin. För delen arbetsfordon bedöms byggverksamhet svara för cirka 75 % av industrins utsläpp (SMED, 2004). Andra viktiga sektorer är järn- och stålindustrin och skogsindustrin som svarar för vardera 13 % respektive 9 %. För båda dessa sektorer svarar dock arbetsmaskiner för en relativt liten andel av de totala utsläppen. För arbetsredskap finns ingen uppdelning mellan sektorer i SMEDs underlag. N₂O svarar för cirka 12 % av de totala utsläppen från arbetsmaskiner.

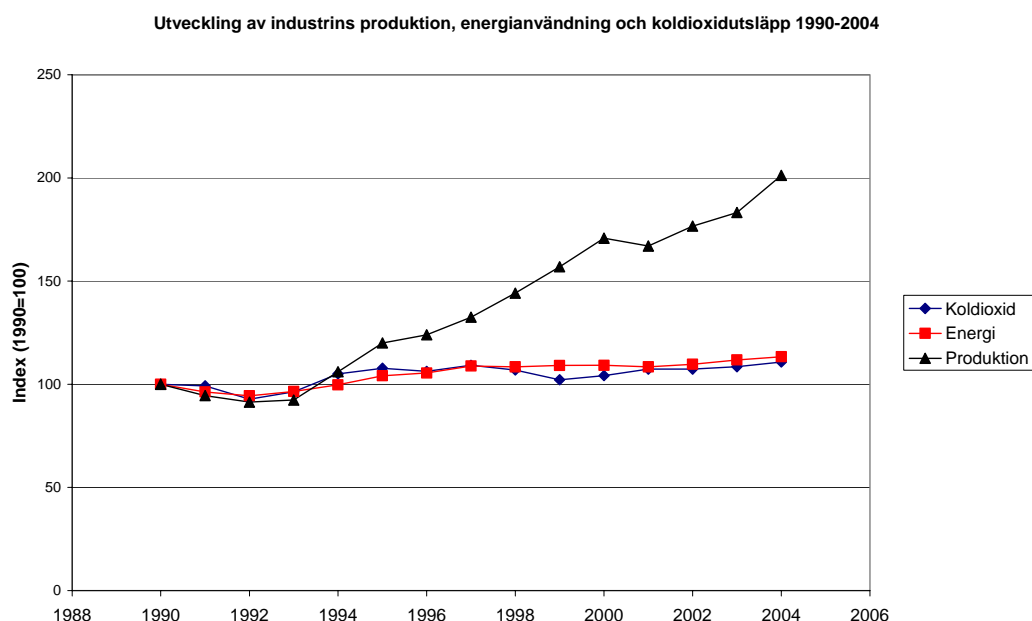


Figur 29 Utsläpp av fluorerade växthusgaser, totalt och fördelat per gas

Industriutsläppens utveckling – en övergripande analys.

Industriproduktionens omfattning är en viktig bestämningsfaktor för hur utsläppen i industrins olika delsektorer utvecklas. Strukturförändringar och energieffektiveringsåtgärder kan dock agera motverkande och minska den direkta kopplingen mellan produktionstillväxt och koldioxidutsläpp.

Sedan 1990 har industrins produktion fördubblats medan såväl energianvändning som koldioxidutsläpp endast ökat med i storleksordningen 10 %, se Figur 30.



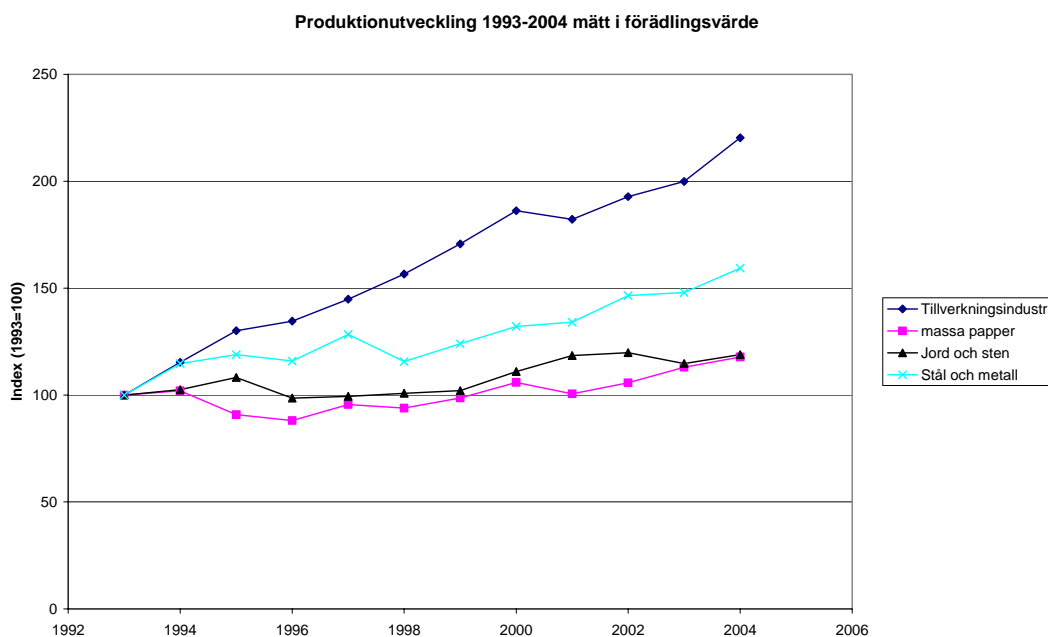
Figur 30 Industrins produktionsvärde, energianvändning och koldioxidutsläpp år 1990-2004

Källa Energiläget samt NIR:en

En viktig orsak till att energianvändningen och koldioxidutsläppen har vuxit långsammare än produktionen är att energi- och koldioxidintensiva branscher har vuxit långsammare än industrin som genomsnitt, se Figur 31. Utvecklingen inom de energiintensiva branscherna styrs till stor del av den internationella marknaden och är i mindre grad beroende av efterfrågan på nationella förhållanden. T.ex. exporteras cirka 80 % av stålindustrins, 70 % av kemikalieindustrins, 60 % av skogsindustrins och 50 % av cementindustrins produkter.¹⁰²

I vissa av de råvarubaserade sektorerna finns en tydlig koppling mellan utsläpp av växthusgaser och producerade kvantiteter. Det gäller särskilt järn- och stålindustrin och cementindustrin. I järn- och stålindustrin har det varit svårt att hitta några substitut för användningen av kol som reduktionsmedel. Inom cementindustrin sker en betydande del av utsläppen i form av avgång av den i kalkstenen bundna karbonaten. För massa- och pappersindustrin finns däremot inte samma direkta koppling då fossila bränslen används i relativt liten grad och inte är lika processspecifika.

¹⁰² ITPS (2004) och Skogsstyrelsen (2006)



Figur 31 Produktionsutveckling 1993-2004 för tillverkningsindustrin, samt massa- och pappersindustrin, jord- och stenvaruindustrin samt stål och metallverk

Utsläppen påverkas också kraftigt av den tekniska utvecklingen. Flera sektorer har en stark drivkraft att minska energianvändningen eftersom energikostnaderna svarar för en betydande del av de totala kostnaderna.¹⁰³ Vid nyinvesteringar finns en betydande drivkraft att öka energieffektiviteten. Under de senaste decennierna har energiintensiteten i de flesta sektorer (kWh/kr) minskat avsevärt, se Tabell 23. Det är dock viktigt att notera att inte alla förändringar i specifik energianvändning beror på energieffektiviseringar utan en del beror på förskjutning i sektorernas produktionsinriktningar.

¹⁰³ För t.ex. massa- och pappersindustrin, kemiindustrin och järn- och stålindustrin står energikostnaderna för 6-8% av de totala rörliga kostnaderna. Källa Energimyndighetens energiindikatorer.

Tabell 23 Energiintensiteten för ett urval industrisektorer 1990 och 2004

Bransch	1990 kWh/kr	2004 kWh/kr
Gruvindustri	0,90	0,70
Livsmedelsindustri	0,23	0,16
Trävaruindustri	0,61	0,34
Massa- och pappersindustri	1,7	1,9
Kemisk industri	0,36	0,17
Gummi- och plastvaruindustri	0,18	0,13
Jord- och stenvaruindustri	0,59	0,57
Järn- och stålindustri	1,9	1,4
Metallverk	1,1	0,7
Verkstadsindustri	0,14	0,04
Totalt industri	0,52	0,31

Källa: Energimyndighetens prognos till kontrollstationen

Flera styrmedel verkar mot industrin. En stor del av industrins koldioxidutsläpp har mött och möter en koldioxidskatt liksom handel med utsläppsrätter. Miljöbalken ställer krav på att, så långt inte är orimligt, använd bästa möjliga teknik för att hushålla med råvaror och energi. Elcertifikat ger incitament för biomassebaserad kraftvärmeproduktion inom massa- och pappersindustrin. År 2005 infördes dessutom programmet för energieffektivisering med syfte att effektivisera energianvändningen i den energiintensiva industrin.

5.3 Prognoser över industrisektorns utsläpp

5.3.1 Prognos koldioxid

Utsläppen i prognosen styrs till stor grad av utvecklingen av industrins tillväxt, energieffektiviseringar och val av energibärare. Enligt konjunkturinstitutets prognoser bedöms industrins förädlingsvärde öka med 4,0 % mellan 2004 och 2015 och med 3,5 % årligen mellan 2015 och 2025. Sammantaget visar den energiintensiva industrin lägre tillväxttal än den övriga industrin.

Utsläppen från industrin (inklusive förbränning av hyttgaser för el- och värmeproduktion) beräknas öka med cirka 14 % mellan 2005 och 2020.

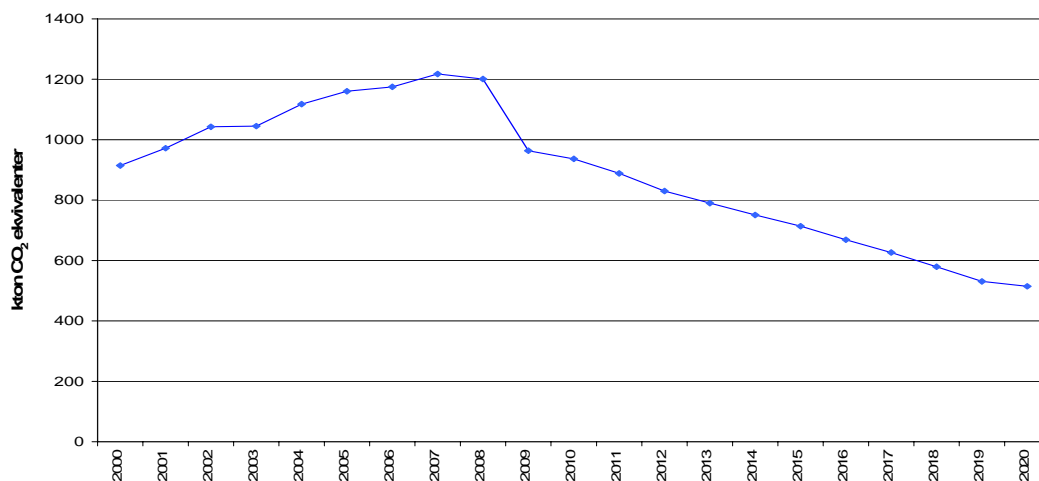
Orsaken till ökningen av utsläppen är utöver industrins tillväxt en antagen ökad användning av naturgas som en följd av ett utbyggt naturgasnät. Inom gruvindustrin ökar användningen av kol på grund av historiskt stora investeringar vilket medför ökade utsläpp. Ökningen av processutsläpp beror i prognosen främst på ökad produktion i mineralindustrin. Utsläppen från järn- och stålindustrins bedöms också öka.

5.3.2 Prognos F-gaser

Prognosberäkningarna¹⁰⁴ visar att utsläppen av F-gaser fortsätter öka något under de allra närmaste åren för att sedan vända nedåt och minska med ca. 20 % jämfört med 2005 års nivå till 2010 och med ca. 60 % till 2020, se Figur 32.

Minskningen till 2010 beror främst på antaganden om åtgärder inom primär aluminiumproduktion¹⁰⁵ medan minskningen till 2020 orsakas av de användningsförbud och krav på minskat läckage av köldmedia som successivt träder i kraft på olika områden som följd av det nya EU regelverket.

En känslighetsanalys indikerar att utsläppen 2020 kan komma att ligga i ett intervall mellan 0,4 och 0,7 Mton koldioxidekvivalenter. Osäkerheten i analysen beror bl.a. på hur stort läckaget av köldmedia kan komma att bli i framtiden. Även en måttlig förändring av den läckagefaktor som används för såväl stationära som mobila anläggningar resulterar i relativt stora förändringar.



Figur 32 Uppskattade framtida utsläpp av F-gaser

5.4 Åtgärds möjligheter och åtgärds kostnader

De åtgärder som står till buds för industrin att bidra till minskade utsläpp av växthusgaser är av olika karaktär:

- Minska de interna utsläppen av växthusgaser
- Minska elanvändningen vilket indirekt kan leda till minskade utsläpp av växthusgaser i externa elproduktion

¹⁰⁴ IVL (2006)

¹⁰⁵ En miljöprövning väntas genomföras till år 2009 för den enda anläggningen för primär aluminiumtillverkning i Sverige och bedöms medföra minskade PFC utsläpp med drygt 0,2 Mton CO₂-ekvivalenter.

- Öka den interna elproduktionen vilket leder minskade utsläpp av växthusgaser externt
- Öka produktionen av biobränslen inom skogsindustrin för extern användning vilket kan leda till minskade utsläpp externt.
- Öka leveranser av spillvärme vilket indirekt kan leda till minskade utsläpp externt
- Tillverka produkter som under användningsfasen har låg energianvändning och bidrar med små växthusgasutsläpp

Betydelsen av dessa olika strategier skiljer sig mellan olika industrisektorer. För vissa är de interna utsläppen mest betydelsefulla t.ex. järn- och stålindustrin. För andra som t.ex. massa- och pappersindustrin är betydelsen av elanvändning och elproduktion av mycket stor betydelse. För andra sektorer, såsom byggnadssektorn eller fordonsindustrin, dominerar produkternas användningsfas helt sektorernas möjligheter att bidra till minskad klimatpåverkan.

I denna sektorsbeskrivning kommer dock åtgärdsanalyserna inte att inkludera klimatpåverkan av produkternas användningsfas utan fokus kommer att ligga på åtgärder kopplade till produktionen. I rapporten diskuteras såväl åtgärder som minskar direkta utsläpp som åtgärder som påverkar behovet av el, förutsättningarna för elproduktion och spillvärmeutnyttjande. För de senare posterna kommer eventuella utsläppsminskningar dock inte att synas i statistiken för industrin utan i stället i el- och värmesektorn. Åtgärder som påverkar elbalansen kommer dessutom att påverka utsläppen utanför Sveriges gränser.

Det finns skäl att i redovisningen separera energi/utsläppsintensiv industri från övrig industri. Inom energiintensiv industri återfinns vi i det följande järn- och stålindustri, pappers- och massaindustri och jord- och stenvaruindustri (med fokus på cement- och kalkindustri). Även kemisk industri är i många fall energiintensiv men detaljerat underlag för åtgärdsbedömningar saknas i denna rapport. Allmänna diskussioner kring åtgärdsalternativ utanför de tre definierade sektorerna redovisas i kapitlet om icke energiintensiv industri.

Beskrivningen baserar sig huvudsakligen på tidigare befintligt material som granskats och vissa fall justerats för att motsvara utgångspunkten i denna studie. Bedömda potentialer är alltid osäkra och beror ofta på det sammanhang som studierna är gjorda. Även om potentialerna skall vara prisoberoende finns det alltid en risk att priserna haft visst inflytande vid potentialbedömningarna. Prisantaganden har dessutom väldigt stor betydelse för kostnadsskattningarna. Om ett oljepris på 50 dollar/fat utnyttjas i beräkningarna (det pris som används i prognosen till kontrollstationen) i stället för t.ex. de 26 dollar/fat som antogs för 2020 i Elforsks studier skulle det minska kostnaden för en åtgärd som minskar användningen av tung eldningsolja med i storleksordningen 600-700 kr/ton CO₂.

5.4.1 Massa- och pappersindustrin

Utsläppen av växthusgaser inom massa- och pappersindustrin var år 2005 cirka 2,3 miljoner ton. Förutsättningarna för att minska utsläppen från denna sektor har analyserats i en Elforskstudie¹⁰⁶ Nedanstående redovisning baserar sig huvudsakligen på denna rapport.

I Elforskstudien klassificeras de möjliga åtgärderna för att minska utsläppen enligt följande:

- Ersättning av fossilbränsle
- Ökad elproduktion
- Förädling av biobränsle
- Energieffektivisering

Den fossilbränsleanvändning som finns idag domineras av olja och den enskilt största oljeförbrukningen finns i sulfatmassaprocessens mesaugnar. Dessutom används olja för ånggenerering. Fram till 2020 bedömer Elforskstudien, att 50 % av den olja som används i mesaugnar skulle kunna ersättas med biobränslen. Bland övrig olje användning bedöms hälften av olje användningen vara nödvändig för att säkerställa driften vid störningar samt start och stopp. Den andra hälften anses kunna bytas ut mot biobränsle till 2020.¹⁰⁷

Det bedöms finnas en betydande potential att öka elproduktionen inom skogsindustrin. De åtgärder som bedöms kunna påverka elproduktionen är anpassning av mottrycksproduktionen till aktuellt värmeunderlag, högre ångtryck i högtrycksnätet, utnyttja kondenskraft vid bränsleöverskott samt eventuell i framtiden utnyttja svartlutsförgasning i ett större bruk. Möjliga åtgärder för ökad förädling av biobränslen inom skogsindustrin, som analyseras i Elforskstudien, är ligninutfällning ur sulfatlut samt produktion av biodrivmedel med hjälp av svartlutsförgasning.

Inom energieffektiviseringsområdet har man i Elforskstudien endast identifierat en åtgärd som ger direkt effekt på koldioxidutsläppen nämligen impulstorkning. Naturvårdsverket anger dock ett flertal möjliga åtgärder för energihushållning med värme, se Tabell 24.

¹⁰⁶ Ekström m.fl. (2005)

¹⁰⁷ Det torde inte finnas några tekniska hinder att ersätta fossila bränslen i högre grad om t.ex. biomassebaserade oljor funnes tillgängliga på ett ekonomiskt rimligt sätt. Det har inte funnits utrymme att ytterligare analysera tillgången på sådana biobränslen och deras lämpligaste användning här.

Tabell 24 Möjliga åtgärder för energihushållning med värme

Massatillverkning	Papperstillverkning
Nya processer för kokning av massa	Minskad vattenförbrukning
Förbättringar i indunstningen	Ökad slutning av vattensystemen
Höjd torrhalt på lutar	Högre torrhalt efter pressparti
Ökad värmeåtervinning	Effektivare tork-kåpor
Ökad användning av lutångkondensat	Förbättrad värmeåtervinning
Högre torrhalt i massa före torkning	
Höjd torrhalt i bark	

Källa: Naturvårdsverket, 2005

Den av Elforsk sammanfattande bedömning av potential och kostnader för åtgärder i skogsindustrisektorn för 2020 redovisas i Tabell 25 och Tabell 26. Åtgärderna är inte självklart adderbara. De praktiska potentialen för interna utsläppsminskningar genom bränslekonverteringar och energieffektiviseringar torde enligt studien kunna uppgå till storleksordningen 600-700 kton/år, Tabell 25.

Tabell 25 Specifik kostnad och potential för åtgärder som minskar de direkta utsläppen av koldioxidutsläpp i skogsindustrin 2020. Beräknat vid olika räntor (4 och 15 %) och oljepriser (26 resp. 50 dollar/fat) baserat på data från Ekström et al. 2005. Ett par justeringar av antaganden har även gjorts.¹⁰⁸

Åtgärd	4 %, 26 USD/fat kr/ton CO ₂	15 %, 26 USD/fat kr/ton CO ₂	4 %, 50 USD/fat kr/ton CO ₂	15 %, 50 USD/fat kr/ton CO ₂	Potential ¹⁰⁹ ton CO ₂ /år
1. Olja i mesaugnar ersätts med barkpulver. Sulfatmassabruk.	375	740	-290	70	120 000
2. Olja i mesaugnar ersätts med barkpulver. Integrerade sulfatmassabruk	400	800	-270	120	130 000
3. Olja i mesaugnar ersätts med flytande biobränsle. Sulfatmassabruk.	560	560	-60	-60	130 000
4. Olja i mesaugnar ersätts med flytande biobränsle. Integrerade sulfatmassabruk	570	570	-60	-50	140 000
5. Baslastoljeförbränning ersätts med ny barkpanna. Integrerade sulfatmassabruk.	160	325	-440	-300	130 000
6. Baslastoljeförbränning ersätts med ny biobränslepanna. Pappersbruk.	180	350	-440	-280	260 000
7. Impulstorkning. Integrerade sulfatmassabruk.	- 40 - +700	630-2000	-1000 --260	-330--+1080	10 000
8. Impulstorkning. Pappersbruk.	-350	-100	-930	-680	30 000

Kostnaderna för åtgärder som ger de största interna utsläppsminskningar uppgår vid ett oljepris om 26 USD/fat till mellan 150 och 400 kr/ton CO₂. För impulstorkning kan kostnaderna vara betydligt högre om hela investeringen hänförs till besparing av olja och inget värde läggs på besparingen av biobränslen. Impulstorkningen bedöms också av industrin, enligt vad som refereras i Elforskstudien, inte vara tillgänglig till år 2020.

¹⁰⁸ I beräkningarna för barkpanna har i vår korrigering samma antagande om rörlig driftkostnad per energimängd ansatts i stället för samma rörlig kostnad per ton producerad produkt. Vad gäller impulstorkning i det integrerade bruket har i Elforskstudien hela investeringen hänförs till oljeanvändningen även om 80 % av energiflödet som effektiviseringsinsatsen berörs, enligt antagande, är biobränslebaserat. I en alternativ kalkyl i föreliggande studie har endast 50 % av investeringen hänförs besparingen av olja.

¹⁰⁹ Potentialen torde vara praktisk potential. Det torde inte finnas några större tekniska hinder att byta även resten av oljan mot t.ex. flytande biobränslen. Det är i detta fall tillgången till bioolja som torde vara begränsande för mängden olja som kan ersättas.

Värt att notera är att kalkylerna kraftigt påverkas av valet av oljepris. Vid ett oljepris på 50 dollar/fat bedöms samtliga interna åtgärder bli lönsamma vid 4 % ränta. Flera av åtgärderna får vid detta oljepris negativa åtgärdskostnader även vid en 15 % realränta. Det gäller bl.a. investeringarna som möjliggör biobränsleanvändning för baslast samt ersättning av fossila bränslen i mesaugnar med flytande biobränslen.

En faktor som påverkar kostnadsskattningarna uppåt är att inga reinvesteringar, kostnader eller drifts- och underhållskostnader hänförs till befintliga oljebaserade anläggningar. Det är mycket tveksamt om det är ett rimligt antagande över en så lång tidsperiod som femton år.

En annan faktor som påverkar företagens förutsättningar för ersättning av fossila bränslen med biobränslen är utvecklingen av biobränslepriser. Med ökande oljepriser kan man förvänta sig ökande biobränslepriser. Hur dessa skall hanteras i en åtgärdskostnadsberäkning är dock inte självklart. I denna studie har vi valt att inte ta med ökade biobränslepriser som en del av åtgärdskostnaden.¹¹⁰

Möjliga externa utsläppsreduktioner genom utbyggd el- och bränsleproduktion bedöms i Elforskstudien uppgå till cirka 900 kton/år för elproduktion och 400 kton för bränsleproduktion, Tabell 26. För samtliga av dessa anges negativa åtgärdskostnader vid 6 % ränta. Inga omräkningar till 4 % har gjorts i denna studie men en sådan omräkning skulle leda till ännu bättre ekonomiskt utfall. Det bör noteras att tekniken för svartlutsförgasning är under utveckling och potential och kostnaderna därför är mycket osäkra.

¹¹⁰ Det är en skillnad om priserna ökar för att dyrare sortiment börjar användas för energianvändamål eller om prisstegringen enbart speglar ökade vinster för bioenergiföretagen. I det förra fallet är det en reell samhällsekonomisk uppoffring medan det senare fallet snarare är att se som en transferering .

Tabell 26 Kostnader och potential för åtgärder inom skogsindustrin som minskar utsläppen i andra sektorer

Åtgärd	6 % ränta kr/ton CO₂	Potential^a ton CO₂/år
9. Ligninutfällning. Sulfatmassabruk.	-790	13 000
10. Ligninutfällning. Integrerade sulfatmassabruk.	-790	13 000
11. Svartlutsförgasning för drivmedelsproduktion. Integrerade sulfatmassabruk.	-360	370 000
12. Svartlutsförgasning för drivmedelsproduktion. Sulfatmassabruk.	-360	370 000
13. Ökad mottryckselproduktion. Integrerade sulfatmassabruk.	-470	360 000
14. Ökad mottryckselproduktion. Sulfatmassabruk.	-520	400 000
15. Kondenselproduktion. Sulfatmassabruk.	-10	20 000
16. Ökad elproduktion med högre ångtryck. Integrerade sulfatmassabruk.	50	7 000
17. Ökad elproduktion med högre ångtryck. Sulfatmassabruk.	180	7 000
18. Svartlutsförgasning för elproduktion. Integrerade sulfatmassabruk.	-230	80 000
19. Svartlutsförgasning för elproduktion. Sulfatmassabruk.	-230	80 000

a. I studien antas elproduktion ersätta naturgas och fordonsbränslen
Källa: Ekström m.fl. (2005)

I Elforskstudien analyseras inte förutsättningarna att spara el och därmed minska koldioxidutsläppen från marginalproduktion. Totalt sett uppgår, enligt Elforsk, den totala (interna och externa) utsläppsminskningen som skogsindustrin kan bidra med till cirka 2 Mton/år.

En annan studie¹¹¹, uppskattar en betydligt större potential för koldioxidreduktion i skogsindustrin än Elforskstudien. Enligt författarna kan skogsindustrin bidra med utsläppsreduktioner motsvarande 3,3 till 8 Mton CO₂/år med utnyttjande av idag kommersiellt tillgänglig teknik. I åtgärderna ingår sådana som förbättrar anläggningarnas elbalans med 8-9 TWh/år. Intervallet beror på om kolbaserad eller naturgasbaserad el antages. 2-5 Mton av dessa kan uppnås till negativa kostnader om en samhällsekonomisk värdering av kapital används (6 % ränta och 15 års avskrivningstid). Motsvarande 0,5-1,2 Mton kan uppnås till negativ kostnad även om 15 % ränta och 3 års avskrivning antas. Hela potentialen kan uppnås till en samhällsekonomisk marginalkostnad under 50 USD/ton CO₂ (vilket motsvarar ca. 350 kr/ton CO₂).

¹¹¹ Möllersten m.fl.(2003)

Ytterligare 6 Mton skulle enligt artikeln kunna uppnås om framtida teknik som svartlutsförgasning med CO₂ avskiljning och deponering blir aktuell. Denna teknik har i arbetet med kontrollstationen inte bedömts vara spridd fram till 2020.

Möllersten m.fl. indikerar att den största potentialen för massa- och pappersindustrin att bidra till minskade koldioxidutsläpp vid dagens teknik är genom att förbättra elbalansen genom effektiviseringar och installation av ökad produktionskapacitet. På sikt skulle förgasning av svartlut kombinerat med koldioxiddeponering kunna bidra till avsevärt minskade nettoutsläpp från skogsindustrin.

I ytterligare en aktuell studie¹¹² analyseras förutsättningarna att effektivisera energianvändningen i ett kemiskt massabruk. En generalisering av en detaljerad analys av förutsättningarna för energieffektiviseringar i den kemiska massaindustrin indikerar att knappt 0,4 TWh/år el skulle kunna sparas, samtidigt som ytterligare 0,8 TWh/år skulle kunna produceras i de nio svenska bruken av samma typ. Knappt 6 TWh/år processvärme skulle kunna besparas. Detta skulle dock ske på bekostnad av en minskad potential för mottrycksproduktion. Inga kostnader för effektiviseringarna redovisas i studien.

Enligt en IVA-studie¹¹³ visar energianalyser för en teoretisk referensfabrik (baserat på kunskap från Mistraprojektet "Kretsloppsanpassad massafabrik") att ett kemiskt massabruk skulle kunna gå från att behöva betydande mängder tillförd energi i form av el och olja till att vara en betydande leverantör av el, bark och tallolja genom att utnyttja dagens bästa teknik. Medan dagens bruk har ett nettobehov av energi motsvarande 160 kWh/ton skulle ett integrerat bruk kunna leverera netto cirka 1 440 kWh/ton i form av el, bark och tallolja.¹¹⁴

Koppling till prognosen

Enligt kontrollstationens prognos ökar energianvändningen i massa- och pappersindustrin med cirka 20 % till år 2020. Utsläppen av koldioxid från sektorn ligger i prognosen ungefär på 2,4 Mton. Utsläppen kommer från en bedömd olje användning om 5,6 TWh, gasol 0,6 TWh samt naturgas om 1 TWh samt en mindre mängd kol 0,1 TWh. Fossilbränsleanvändningen ligger på ungefär samma nivå som år 2004 men svarar för en lägre andel av energitillförseln än idag.

5.4.2 Järn- och stålindustrin inklusive malmberedning samt övrig metallindustri

Den svenska järn- och stålindustrin svarar för nästan en tredjedel av den svenska industrins utsläpp av växthusgaser. Nära kopplat till järn- och stålindustrin är produktionen av järnmalm. Den svenska stålindustrin använder till stor del malm som kommer från svensk malmutvinning. Den svenska järn- och stål-

¹¹² Klugman m.fl. (2007)

¹¹³ Sundlöf (2002)

¹¹⁴ Dagens produktion av sulfatmassa uppgår till 7 miljoner ton.

industrin (inkl gruvor) består av ett litet antal industrier inom fyra huvudområden nämligen: kulsintertillverkning, malmbaserad järn- och ståltillverkning, skrotbaserad ståltillverkning samt ståltillverkning baserad på järnsvamp.¹¹⁵ Den svenska malmbaserade ståltillverkningen håller en energieffektivitet (MJ/ton stål) och specifika koldioxidutsläpp motsvarande ett globalt genomsnitt.¹¹⁶ Om man tar hänsyn till att magnetit används som råvara¹¹⁷ och att produktionen av höghållfasthetsstål minimerar behovet av stål i en konstruktion faller det svenska produktionssystemet ut bättre än genomsnittet.¹¹⁶

Malmberedning

Malmframställningen i Sverige är koncentrerad till ett företag nämligen LKAB som varje år producerar cirka 20 miljoner ton järnprodukter. Utsläppen av koldioxid från de tre anläggningarna Kiruna, Svappavaara och Malmberget uppgick år 2005 till cirka 439 kton. Utsläppen kommer främst från förbränning av fossila bränslen som används för oxidation och sintring av kulsintern men även från tillsatsmedel som dolomit och kalksten vid oxidationsprocessen (det senare svarar för i storleksordningen 20 % av utsläppen). LKAB planerar produktionsökningar från 16,7 Mton till 28,1 Mton pellets med ökade utsläpp till 775 kton/år kring 2010.

IVL¹¹⁵ har analyserat reduktionsmöjligheterna för koldioxid vid malmberedningen och identifierat följande reduktionsmöjligheter:

- Energieffektiviseringar
- Bränslebyten framför allt till naturgas
- Ökad användning av restvärme för extern uppvärmning
- Alternativa tillsatsmedel

IVL anger varken reduktionsmöjligheter eller kostnader för potentialer för utsläppsminskningar. Naturvårdsverket¹¹⁸ bedömer att utsläppen bör kunna minska med 10 % eller ca. 0,04 Mton/år till år 2010 genom kontinuerliga effektiviseringar och övergång till indirekt kolpulvereldning. På sikt kan enligt samma källa en övergång till naturgas bli aktuell.

En total övergång från kol och olja till naturgas skulle kunna ge en utsläppsreduktionen i storleksordningen 30 % eller för 2010 cirka 200 kton/år.¹¹⁹ Kostnaden för åtgärden beror av relativpriserna mellan naturgas och olja respektive

¹¹⁵ Holmgren m.fl. (2005)

¹¹⁶ Sandberg m.fl.(2001)

¹¹⁷ Produktionen av 1 ton pellets av den typ som LKAB producerar kräver cirka 500 MJ att producera medan det normala för produktion ur hematit är 1950 MJ (Sandberg et al, 2001).

¹¹⁸ Naturvårdsverket (2005)

¹¹⁹ Med antagen bibehållen fördelning mellan kol och olja som referensbränsle och att 1 MJ naturgas ersätter 1 MJ kol respektive olja.

kol. Beroende på antaganden skulle kostnaderna för ersättning av kol med naturgas kunna hamna någonstans mellan 0,7 och 1,7 kr/kg CO₂.¹²⁰

Järn- och ståltillverkning

Malmbaserade järn- och ståltillverkning är den bransch som har störst utsläpp, huvudsakligen kopplade till ett enda företags, SSAB, anläggningar i Luleå och Oxelösund. Totalt sätt uppgick utsläppen från dessa två anläggningar år 2004 till cirka 6 Mton. Produktionen består av fem olika processteg nämligen koksverk, masugn, LD-konverter, skänkbehandling samt stränggjutning.

De strategier som IVL har identifierat för att minska utsläppen av koldioxid är i första hand:

- förbättrade utbyten
- processoptimering
- ökad recirkulation och
- bättre balans i det varma flödet

IVL bedömer förutsättningarna att minska koldioxidutsläppen drastiskt på kort eller medellång sikt (2010-2020) som små eftersom byte av teknik då krävs. Ett europeiskt samarbetsprojekt med målsättningen att halvera utsläppen pågår men man bedömer att en demonstrationsanläggning kommer att kunna vara klar tidigast runt 2015.

IVL redovisar åtgärdsalternativ för att minska utsläppen till år 2020 enligt Tabell 27. Sammanfattningsvis bedöms ungefär 500 kton kunna reduceras till en låg kostnad <100 kr/ton. Ytterligare drygt 100 kton skulle kunna minskas om högre kostnader accepteras >400 kton (den andra åtgärden i tabellen ersätter den första).

Tabell 27 Möjliga åtgärder inom den malmbaserade stålindustrin till år 2020

Åtgärd	Genomsnittskostnad 6 % ränta kr/ton	Reduktionspotential ton/år	År
Ersätt koks med kol i masugn BAT för PCI:koks (220:250)	<100 ^a	340	2010
Ersätt PCI i formarna	>400	440	2010-2020
Ersätt olja med naturgas	<100 ^a	1,5	2010-2020
Ersätt gasol med naturgas	<400 för det ena verket >400 för det andra	0,8	2010-2020
Förvärmning av skrot	<100	205	2020

a. IVL poängterar att det för dessa åtgärder blir en negativ kostnad enligt de uppskattade beräkningarna.
Källa: Holmgren m.fl. 2005

¹²⁰ Antagna olje-, naturgas och kolpriser enligt Elforsk och antagna högre investerings och driftskostnader för kolanläggningar än naturgasanläggningar baserat på energikommisionen.

I princip skulle man kunna tänka sig att ersätta fossilt kol med träkol. Enligt Blasiak m.fl.¹²¹ finns det inga uppenbara tekniska nackdelar med denna ersättning. Merkostnaderna uppgår dock till storleksordningen 1 kr/kg CO₂. Behovet av biomasseresurser skulle dessutom vara betydande om kol skulle ersättas med träkol.

På sikt kan man i princip tänka sig koldioxidavskiljning från de svenska stålverken då utsläppen är mycket koncentrerade.¹²² Denna teknik bedöms i kontrollstationen inte finnas tillgänglig till år 2020 i någon större skala. Åtgärdskostnaden skattas av Vattenfall till i storleksordningen 40 USD/ton CO₂ kring 2030.

Den skrotbaserade järn- och ståltillverkningen som svarar för en betydligt mindre del av utsläppen (600 kton) bedöms av IVL ha en reduktionspotential på mindre än 15 kton. Dock bedöms detta vara en underskattning av den verkliga potentialen eftersom inte alla möjliga utsläppsreduktioner har kunnat analyseras. Värt att notera är att de specifika emissionerna för denna delsektor ökade mellan 1987 och 1997 till skillnad från utsläppen i den malmbaserade stålindustrin. Naturvårdsverket (2005) gjorde bedömningen att ständiga förbättringar skall kunna reducera utsläppen med ca. 1 %/år i den skrotbaserade stålindustrin eller cirka 0,03 Mton CO₂ till år 2010.

Elanvändningen i sektorn uppgår till cirka 4 TWh/år varav dryga hälften går till motorkraft och belysning medan cirka 40 % åtgår till värmning.

Koppling till prognosen

I prognosen ökar energianvändningen i gruvindustrin med drygt 2 TWh mellan 2004 och 2020 eller ungefär 55 %. Utvecklingen i järn- och stålindustrin är något lägre, en ökning med knappt 20 %, eller cirka 4,5 TWh. Energianvändningen i gruvindustrin ökar betydligt snabbare än produktionen (mätt i förädlingsvärde) som enbart ökar med cirka 20 %. Det motsatta gäller för järn- och stålindustrin där produktionen ökar betydligt snabbare, nämligen med cirka 50 %.

Gruvindustrins fossilbränsleanvändning ökar med cirka 0,7 TWh/år kol och 0,5 TWh/år olja, totalt sett en fördubbling jämfört med 2004. Inom stålindustrin ökar fossilbränsleanvändningen med cirka 4 TWh eller 20 %. Av denna ökning svarar användningen av kol för ungefär 3,4 TWh. Olje- och gasol användningen förblir i stort sett konstant till 2015 för att sedan minska med 1,4 TWh till 2025. Naturgasanvändningen i järn- och stålindustrin ökar i prognosen med 2,3 TWh mellan 2004 och 2025.

¹²¹ Blasiak m.fl. (2002)

¹²² De flöden som uppkommer vid vardera anläggningen är jämföra med de som kan förväntas ifrån ett 500-600 MW kolbaserat kondenskraftverk (antagande emissionsfaktor 800 kg/MWh, 8 000 h drifttid).

Potentialerna om åtgärdsalternativ i tidigare delar av detta kapitel baserade sig på något lägre energianvändningsnivåer än vad som prognostiserades ovan. För gruvnäringen är dock den större delen av den prognostiserade utsläppsökningen redan inräknad till 2010 då större delen av produktionsökningen kommer att ske intill dess (från 16,7 Mton till 28,1 Mton pellets per år). Vad gäller stålindustrin är förväntningarna om produktionsökningar lägre i IVL rapporten där SSABs prognostiserade produktion för 2019 (mätt i ton) endast är 6 % högre än 2005 och utsläppen endast i motsvarande grad högre. Potentialen för utsläppsminskningar torde därför i absoluta tal vara högre, med utgångspunkt i den aktuella prognosen, än vad som antagits i IVL rapporten.

5.4.3 Mineralindustrin

Cementindustrin

Cementindustrin svarar för koldioxidutsläpp på cirka 2 Mton/år. Framställningen av cementklinker kräver hög temperatur, ca. 1 450 grader C och är därmed mycket energikrävande. Det finns tre anläggningar i Sverige vilka totalt använder ca. 30 % alternativbränslen varav ca. 5 % förnybara bränslen samt 70 % kol som bränsle. Förutom från förbränningen kommer koldioxidutsläppen från kalcineringen av kalkstenen. Denna del är den större andelen av koldioxidutsläppen.

De specifika koldioxidutsläppen från cementindustrin har varit relativt konstanta sedan 1990 även om en fallande tendens har kunnat iakttas mellan år 2000 och 2003. Sektorn arbetar med att öka mängden alternativa bränslen inklusive förnybara bränslen ytterligare framöver.

IVL¹²³ redovisar i princip tre möjliga angreppsmöjligheter för att minska utsläppen av koldioxid: att reducera energianvändningen, att byta bränslen samt minska mängden klinker i produkten. Den senare ger möjligheter till utsläppsminskningar från såväl råmaterialet som energianvändningen.

IVL bedömer i samma studie att den svenska produktionen är mycket energieffektiv.¹²⁴ Man bedömer dock att mindre energireduktionsåtgärder skulle vara möjlig genom bättre styrning och reglering av ugnarna. En annan möjlig förbättring som nämns är att modifiera kalcinatorn där kalkstenens CO₂ drivs av så att alternativbränslen kan förbrännas med lägre luftöverskott samt förbättrad värmeväxling i cyklontornet. Det bedöms att det skulle kunna sänka energiförbrukningen 3 % med god lönsamhet.. En anläggning saknar kalcinator.

Den kol och petroleumkoks som används som bränsle till cementugnarna skulle kunna ersättas med bränslen med lägre C/H förhållanden som eldningsolja och LPG. IVL menar att naturgas inte är ett alternativ på Gotland, Öland och

¹²³ Strippel m.fl. (2005)

¹²⁴ Samtidigt redovisas dock data i rapporten som indikerar att energianvändningen per enhet klinker är ungefär 30 % högre än bästa teknik.

Skövde.¹²⁵ En något ökad användning av biobränslen skulle också enligt IVL vara möjligt men vilka kvantiteter det skulle röra sig om anges ej i rapporten. Andra alternativa bränslen och restprodukter skulle också kunna användas i framtiden (jfr rapporten om avfall). Om dessa restprodukter är av fossil bakgrund (t.ex. däck) är det dock inte självklart att användandet av dessa kommer att leda till att utsläppen som rapporteras kommer att minska.

Slutligen skulle det finnas en möjlighet att minska klinkerinnehållet med 5 % genom övergång från byggcement till typ II A-M cement. Man är dock styrd av marknadens behov av olika cementkvaliteter.

I kontrollstationens avfallsrapport uppskattas utsläppsminskning genom ökad alternativbränsleanvändning vara större än vad IVL bedömer. Genom öka andelen förnybara bränslen skulle utsläppen kunna minska med åtminstone 100 kton/år jämfört med dagens läge.¹²⁶ Skulle det vara möjligt att på längre sikt ersätta upp till hälften av kolet med förnybara avfallsbränslen minskar utsläppen med ca. 400 kton CO₂/år (50 % av 40 % av 2 Mton).

Lönsamheten är en viktig faktor för den konkurrensutsatta cementindustrin. Därför är inköp av biobränslen inte aktuella för att ersätta kol. Avfallsbränslen däremot kan i många fall medföra intäkter som överstiger merkostnader i hanteringen av dessa bränslen.

Med tanke på de stora mängder avfallsbränslen och den kapacitetsbrist som råder borde det på sikt inte vara någon brist på lämpliga avfallsbränslen. Det kan dock ta tid att finna och skriva kontrakt med lämpliga leverantörer.

Därutöver finns betydande mängder avloppsslam som skulle kunna vara lämpliga att tillföra cementugnar för att ersätta kol. I nuläget används de ca. 1 Mton kommunalt avloppsslam som uppkommer varje år i huvudsak för deponitäckning och anläggningsändamål. Samtidigt mellanlagras betydande mängder i avvaktan på exempelvis deponitäckning. (Naturvårdsverket 2006)

Att använda slammet som bränsle i cementugnar tillämpas redan bl.a. på Gotland men även i Danmark och Tyskland. Ur ett samlat miljöperspektiv skulle användning i cementugnar vara lämpligare än t.ex. deponitäckning för vissa avloppsslam. Det finns ett delmål gällande återvinning av 60 % fosfor ur avlopp till produktiv mark senast 2015 som inte bör motverkas. Den del av slammet som är av lägre kvalitet skulle eventuellt kunna tillföras cementugnar utan att målet motverkas.

På lång sikt anger IVL ett par tekniska lösningar som kan minska utsläppen betydligt nämligen fluidiserad bäddteknik samt koldioxidavskiljning och depo-

¹²⁵ Möjligheterna att i framtiden utnyttja LNG diskuteras däremot inte.

¹²⁶ Från 5 till 18%.

nering. Åtminstone anläggningen i Slite är av den storleksordningen att en sådan teknik borde vara applicerbar.

De åtgärder som anges av IVL på medellång sikt redovisas i Tabell 28.

Tabell 28 Åtgärdsalternativ för att minska koldioxidutsläppen från cementindustrin enligt IVL (Strippel m.fl, 2005)

Åtgärd	Utsläppsminskning kton	Kostnad Kr/ton 6 % ränta
Ökad användning av alternativbränslen med delinnehåll biobränslen	25	100
Energieffektivisering (3 % i kalcinators)	16	-65
Ökad slagganvändning	44	400

Gäbel¹²⁷ har genomfört en simulering av potentialen för att minska utsläppen från en cementindustri. Genom förändring av klinkerhalten och konvertering till alternativa bränslen bedömer hon att det finns möjligheter att reducera utsläppen från 780 till 480 kg CO₂/ton cement med fortsatt god prestanda på produkten.

Vattenfall¹²⁸ gör i sin globala studie om utsläppsminskningar bedömningen att en 30 % substitution av klinker skulle vara möjlig utan att kvaliteten försämras. Som jämförelse har Åhman¹²⁹ skattat klinkerandelen i Sverige till 89 %. Vilka förutsättningar som i det specifika fallet beroende på vilken kvalitet som önskas på cementen. IVL bedömde, som ovan nämnts att förutsättningarna för att minska klinkerandelen som begränsad. Kostnaden för klinkersubstitution skattas i Vattenfallstudien till i storleksordningen 15-20 Euro/ton CO₂.

I Vattenfallstudien redovisas även möjligheter att effektivisera energianvändningen vid klinkerproduktion till motsvarande dagens bästa teknik 3 GJ/ton klinker, att byta bränslen samt att avskilja koldioxid från rökgaserna. Koldioxidavskiljning bedöms ej vara tillgänglig före 2020 och bara använd i nya anläggningar. Reduktionskostnaden för denna åtgärd uppskattas av Vattenfall till cirka 40 Euro/ton CO₂.

Övrig mineralindustri

Inom lättklinkerindustrin, som svarar för betydligt mindre utsläpp än cementindustrin totalt knappt 60 kton vara 2004 cirka 25 kton med fossilt ursprung.¹³⁰ (IVL) Potential för att minska utsläppen finns genom att ersätta kolpulver med träpulver samt energieffektivisering, Tabell 29.

¹²⁷ Gäbel (2001)

¹²⁸ Vattenfall AB (2007)

¹²⁹ Åhman (2004)

¹³⁰ De verifierade utsläppen enligt utsläppshandelssystemet uppgick till 20,7 kton år 2005.

Kalkindustrin svarar för drygt 800 kton/år varav cirka 300 kton/år kom från bränslet. IVL diskuterar några möjligheter för att minska utsläppen från bränsleanvändningen men lämnar inte några kostnads- eller potentialbedömningar. Naturvårdsverket (2005) gjorde bedömningen att industrin genom de ständiga effektiviseringar som normalt görs, inklusive byte av brännare, bör ha en reduktionspotential om 0,02 Mton/år till 2010. Potentialen bör genom fortsatta effektiviseringar kunna vara väsentligt större till år 2020. Man har även möjlighet att övergå till avfallsbränslen och biobränslen framför allt för roterugnar.

Ytterligare sektorer inom branschen är planglas det finns ett företag med utsläpp 2005 på cirka 160 kton. Glasullsindustrin representeras av en tillverkare med utsläpp om cirka 32 kton, produktionen av stenull svarar för cirka 50 kton/år, ett företag med förpackningsglas har utsläpp på cirka 69 kton. Tegelindustrin ingår även i sektorn men har mycket låga utsläpp cirka 4 kton. Totalt svarar denna grupp företag för utsläpp överstigande 300 kton/år. IVL har skattat möjliga åtgärder för några av dessa vilka redovisas i Tabell 29.

Tabell 29 Potential för utsläppsminskningar i övriga delsektorer enligt IVL (Stripples m fl, 2005) och Naturvårdsverket (2005)

Åtgärder	Potential kton	Kostnad Kr/ton (6 %ränta)	Källa
Lättklinker			
Konvertering från kolpulver till träpulver	11	250	IVL
Energieffektivisering	1,5	500	IVL
Kalkindustrin	20	-	Enligt NV till 2010
Planglas			
Ökad mängd krossglass	5	0	IVL
Bränslebyte till naturgas	28	650 ^a	IVL
Ökad elanvändning	9 (brutto – ökar behovet av el istället)	-140 kr/ton	
Förpackningsglasindustri			
Värmeåtervinning	0,7	-85 kr/ton	
Konvertering av olja och gasol till naturgas	13	-81 kr/ton	

a. Enligt nuvarande offerter. Om prisbildningen ändras så att relationen mellan olje- och naturgaspriser förskjuts kommer det att påverka denna nivå.

Inga potentialer för utsläppsminskningar redovisas i IVL-rapporten för glasulls- eller stenullsindustrin.

Koppling till prognoser

I prognosen växer sektorn jord- och stenvaruindustri med ungefär 25 % mellan 2004 och 2020. Den årliga energianvändningen ökar med 0,6-0,7 TWh. Ökningen sker såväl i form av naturgas, el, kol, kol och olja. De alternativa avfalls-

bränslen som i ökande grad används i sektorn kan dock inte särskiljas i prognosen. I IVL-rapporten finns ingen tydlig utgångspunkt varifrån den potentiella utsläppsreduktionen skall ske.

5.4.4 Övriga sektorer

I övriga sektorer var energianvändningen år 2004 drygt 40 TWh/år. Av dessa var cirka 10 TWh/år fossila bränslen, av dessa var cirka 4,5 TWh oljor. Fossilbränsleanvändningen för dessa sektorer fördelade sig år 2004 enligt Tabell 30. Några aktuella övergripande analyser kring potentialer och åtgärdskostnader för att minska utsläppen i Sverige för dessa sektorer finns ej.

Tabell 30 Fossilbränsleanvändningen 2004 i industrisektorn exklusive gruvindustrin, järn- och stålindustrin, jord- och stenvaruindustrin, massa, pappersindustrin samt byggnadsindustrin

Sektor	Kol	Oljor	Gasol	Naturgas	Summa
Livsmedel		1,3	0,3	1,1	2,7
Textilindustri		0,2	0,1	0,1	0,4
Trävaruindustri		0,2			0,2
Grafisk ind.			0,1		0,1
Petrokemisk		0,1			0,1
Kemisk	0,2	0,9	0,4	1,4	2,9
Gummivaruindustri		0,2		0,2	0,4
Metallindustri	0,5	0,1	0,2	0,1	0,9
Verkstadsindustri	0,1	1,1	0,4	0,4	2
Övrig industri +småindustri		0,3	0,2		0,5
Summa	0,8	4,4	1,7	3,3	10,2

Oljekommissionen¹³¹ gjorde bedömningen att olje användningen i industrin skulle kunna minskas med 25-40 procent. Minst halva andelen av den totala olje användningen som används för uppvärmning bedöms av oljekommissionen kunna ersättas med biobränslen och fjärrvärme. För processer kan oljan ersättas med energigaser, t.ex. naturgas. I den tidigare nämnda Elforskstudien¹³² analyserades förutsättningarna att minska utsläppen från teknikföretagen (SNI 28-35).

I Elforskstudien bedömdes potentialen för utsläppsminskningar genom konvertering från olja till biobränslen år 2020 uppgå till i storleksordningen 460 kton. Här antas samtliga fossila bränslen (huvudsakligen olja), som i ett referensfall bedöms användas för uppvärmning, kunna konverteras till biobränslen. Elforsk bedömer att åtgärdskostnaden för att ersätta olja med biobränsle för uppvärmning uppgår till cirka 400 kronor/kg CO₂. Med högre antaganden om oljepriser enligt nyare prognos skulle kostnadskalkylen förskjutas till en nettovinst.¹³³ Det

¹³¹ Kommissionen mot oljeberoende (2006)

¹³² Ekström m.fl. (2005)

¹³³ En oljeprishöjning från 26 dollar/fat till 50 dollar/fat innebär en prishöjning motsvarande i storleksordningen 180 kr/MWh vilket i sin tur motsvarar 650 kr/ton CO₂.

är möjligt att en viss del av oljeanvändning av olika praktiska skäl inte skulle kunna konverteras till biobränslen men det är en rimlig bedömning att det finns vissa kvantiteter av den olja som används i övriga sektorer som skulle kunna ersättas i stället.

Det finns flera studier som indikerar betydande potentialer för eleffektiviseringar inom industrin. Henning (2005) redovisar en aktuell genomgång av de effektiviseringspotentialer som finns i ett stort antal sektorer med undantag av stål, kemi och massa. Elanvändningen som studerats motsvarar cirka 1/3 del av industrins elanvändning. Studien baserar sig på noggranna kartläggningar av 34 industrier och ett antagande att motsvarande reduktioner av elanvändningen skulle vara möjlig även i andra industrier. Den bedömning som görs är att elanvändningen kan reduceras med cirka 35 % från cirka 20 TWh/år till 13 TWh/år.¹³⁴ Drygt hälften av denna mängd bedömdes komma från effektiviseringar, huvudsakligen åtgärder inom områdena belysning, tryckluft och ventilation. Av konverteringarna bedömdes den största delen ske till biopannor och fjärrvärme men cirka 15 % till naturgas.

ÅF (2006) redovisar i en rapport till Energimyndigheten ett antal åtgärder som kan leda till minskad energianvändning inom industrin. Exempel på sådana åtgärder för övriga industrisektorer sammanfattas i Tabell 31. ÅF redovisar dock inga kvantifieringar av vare sig reduktionspotentialer eller kostnader.

Tabell 31 Möjliga åtgärder i några industrisektorer enligt ÅF (2006)

Sektor	Åtgärder
Livsmedelsindustrin	Bättre processintegration med hjälp av pinchteknik, konvertering till biobränslen
Textilindustri	Effektivare energiåtervinningsanläggningar, effektiva maskiner, Konvertering från olja till biobränslen inkl textila spill
Trävaruindustri	Värmeåtervinning i torkanläggningar och ventilationssystem, bättre styr- och reglersystem, tätning av dörrar och portar
Kemisk industri	Bättre processintegration, byte av bränslen för uppvärmning.
Verkstadsindustrin	Konvertering av olja till biobränslen eller värmepump, inbyggnad av torkugnar, minskad elanvändning för ventilation och tryckluft

Koppling till prognoser

Energianvändningen för övriga industrisektorer bedöms i prognoserna öka med i storleksordningen 6 TWh/år mellan 2004 och 2020. De största ökningarna i absoluta tal förväntas ske i trävaruindustrin och den kemiska industrin. Av ökningen är cirka 1,6 - 1,8 TWh fossila bränslen, främst naturgas men även olja. I de bedömningar som gjordes inom Elforsk togs utgångspunkt i fossilbränsleanvändningen i början av 2000-talet och det är därför rimligt att en viss del av

¹³⁴ Effektiviseringsmöjligheterna beräknades med hjälp av en optimeringsmodell.

denna expansion av fossila bränslen skulle kunna ske med biobränslen om de ekonomiska och organisatoriska förutsättningarna vore de rätta.

5.4.5 Arbetsmaskiner

De tekniska lösningar för att minska utsläppen från arbetsmaskiner motsvarar dem som gäller dieseldrivna fordon. Effektivare motorer och alternativa drivmedel är centrala möjligheter för att minska utsläppen. Kostnaderna för att ersätta diesel med alternativa drivmedel borde vara i samma storleksordning som ersättning i vägfordon. Förutsättningarna att effektivisera energianvändningen beror på tekniska statusen i maskinflottan och belastningsmönster. Både förbättringar av konventionell dieselmotorteknik som introduktion av olika hybrid-system är tänkbara. Wetterberg m.fl. (2007) gör dock bedömningen att inga förbättringar i energieffektivitet är att vänta före 2014 då de idag i EU beslutade stegen vad gäller avgasemission har genomförts.

5.4.6 Spillvärme

En stor del av den energi som används i industrins processer omvandlas till överskottsvärme. En andel av industrins överskottsvärme benämns spillvärme. Fjärrvärmeutredningen använder sig av följande definition av spillvärme: *Överskottsenergi som ej kan utnyttjas internt och där alternativet är att värmen släpps ut till omgivningen. Värmen kan vara bunden i vätskor eller gaser.*

Under perioden 2000-2004 användes i genomsnitt 4,6 TWh spillvärme för fjärrvärmeproduktion i Sverige (Profu, 2006). Uppskattningar från Svensk fjärrvärme och Fjärrvärmeutredningen indikerar att ytterligare 3-5 TWh/år skulle vara möjlig. Potentialen utgår från omfattningen av dagens samarbeten som utgör mall för hela industribranscher. Ett ökat spillvärmeutnyttjande kommer inte att leda till minskade utsläpp i industrisektorn utan i fjärrvärmesektorn, eller alternativt genom att bioenergi frigörs till andra användningsområden. Däremot kan omvänt inkoppling av industrier med externt värmebehov till fjärrvärmesystemet leda till minskade utsläpp från sektorn.

Utnyttjandet av energigas från SSAB i Luleå för el- och fjärrvärmeproduktion kan ses som en variant av spillvärmeleveranser. Här rör det sig i stället om ”spillbränslen” som, om de inte kommit till användning för el- och värmeproduktion, annars skulle ha facklats bort.

Koppling till prognos

I prognoserna antas cirka 6 TWh spillvärme bli utnyttjad. En viss potential för ytterligare expansion av spillvärme torde därmed finnas.

5.4.7 Utsläpp av F-gaser

De kvarstående utsläppen av f-gaser år 2020 med dagens styrmedel uppskattas uppgå till totalt drygt 0,5 Mton koldioxidekvivalenter. Källorna är främst läckage av HFC från stationära kyl/frys/luftkonditionerings- och värmepumpsanläggningar (drygt 200 kton 2020 med läckagefaktor 2 %), luftkonditionering i fordon (drygt 100 kton med läckagefaktor 5 %), skumplastprodukter och från

tillverkning av skumplast (50 kton) samt emission av PFC från aluminiumtillverkning (drygt 50 kton). Hur stora de kvarstående utsläppen verkligen blir beror till stor del på hur stort läckaget av köldmedia faktiskt blir.

För stationära anläggningar ställs krav på läckagekontroll och återvinning men inga krav på byte av köldmedia till andra typer som har lägre växthusgaspotential. Det finns dock alternativ anpassat för f-gaser med lägre växthusgaspåverkan och ny teknik är nu på väg in för många applikationer baserat på koldioxid eller kolväten. Alternativ teknik baserad på koldioxid istället för HFC bedöms vara marknadsutvecklad till år 2010. Blåsning av skumplast kan göras med koldioxid istället för HFC, vilket också sker av en stor svensk tillverkare. HFC ger dock något bättre isoleregenskaper.

Baserat på erfarenheter från Norge och Danmark bedöms utsläppsreduktioner motsvarande 200 kton/år bli kostnadseffektiva vid en utsläppsvärdering motsvarande 200 kr/ton koldioxidekvivalent. De åtgärder som är aktuella är att minska läckaget av f-gaser genom att oftare kontrollera systemet och utföra nödvändig service, att byta till likvärdig substans med lägre GWP-faktor samt att investera i naturliga köldmedium som t.ex. koldioxid. Detta skulle minska prognostiserade utsläpp till 0,5 Mton för år 2015 resp. 0,3 Mton för år 2020¹³⁵.

5.4.8 Hinder för genomförande av åtgärder

Trots att det finns en hel del åtgärder som kan tyckas vara kostnadseffektiva med dagens energipriser och koldioxidvärdering genomförs dessa inte. Det finns flera skäl till det bl.a.¹³⁶:

- Företagen har högre avkastningskrav än vad som används i de samhälls-ekonomiska kalkylerna –
- Företagen kan sakna tillgång på kapital
- Företagen saknar information om möjliga åtgärder
- Företagen är rädda för produktionsstörningar vid genomförandet av energieffektiviseringar.
- Tidsbrist eller andra prioriteringar
- Begränsad rationalitet – företagen utgår från andra beslutsregler än nytto-maximering.

Dessa faktorer finns skäl att ta hänsyn till när styrmedel skall designas.

¹³⁵ Pedersen (2007)

¹³⁶ Se t.ex. Rohdin och Thollander (2006) och Rohdin m.fl.(2007)

6 Energitillförsel

6.1 Sammanfattning -energisektorn

- Energisektorn bidrar med ungefär en tiondel av Sveriges totala växthusgasutsläpp idag.
- Sedan 1990 har utsläppen av växthusgaser från energisektorn ökat med 1,3 miljoner ton. Det är utsläppen från elproduktion och raffinaderier som ökat medan utsläppen från hetvattenproduktion varit konstant då biobränsleanvändning ökat kraftigt.
- Utsläppen av koldioxid från elproduktion i Sverige kommer från förbränning av fossila bränslen i kraftvärmeverk och vissa år även från kondenskraftverk, t.ex. vid låg tillgång på vattenkraft. 1990 var utsläppen från elproduktion låga jämfört med ett normalår.
- Orsaken till ökade utsläpp från raffinaderier är ökad produktion, ungefär 20 procent, samtidigt som koldioxidintensiteten per tillförd enhet råolja ökat. En trolig orsak till detta är de investeringar i processer som gör det möjligt att producera mer avancerade produkter, större möjlighet att välja råolja av olika kvalitet och större möjlighet att variera utbudet av produkter utifrån efterfrågan.
- Hur mycket utsläppen av växthusgaser från energisektorn kan reduceras och till vilken kostnad är beroende av flera osäkra faktorer. Kostnaden för många åtgärder är starkt beroende av bränsleprisförhållanden, t.ex. kostnaden för att ersätta torv med biobränslen är framförallt beroende av prisrelationen mellan biobränslen och torv. Investeringskostnaden och konstruktionstiden är en viktig faktor för anläggningar med hög initial kostnad (t.ex. kärnkraft och vattenkraft). Styrmedel är en annan viktig faktor då de kan påverka bränsleprisförhållanden och osäkerheter vid investering i ny kapacitet. I denna analys har styrmedelseffekter inte inkluderats. Hur stor potential utsläppen kan minska är beroende av vilka nyinvesteringar som sker, vilket bland annat är beroende av prisrelationer mellan bränslen, styrmedel och hur väl energi-marknaden fungerar.
- Investeringar i förnybar el- och värmeproduktion förväntas genomföras de kommande decennierna för att möta en ökad efterfrågan samt att ersätta gamla anläggningar. Därmed undviks utsläpp av växthusgaser.
- Att ersätta torv och kol med biobränslen är en billig åtgärd i jämförelse med andra åtgärder för existerande anläggningar identifierade i denna analys. Genom dessa åtgärder kan koldioxidutsläppen minska med upp till 3 miljoner ton.

- Såvida inte avskiljning och lagring av koldioxid blir kommersialiserat är åtgärdskostnaden för att minska utsläppen från avfall och naturgas betydligt högre. Naturgas kan även ersättas av (metaniserad) biogas, kostnaden och eventuellt metanläckage för en omfattande konvertering är dock osäker. Avskiljning och lagring av koldioxid kan även tillämpas vid förbränning av bio-bränslen varvid en koldioxidsänka kan skapas, givet att uttaget ur skogen inte är större än upptaget.

6.2 Inledning

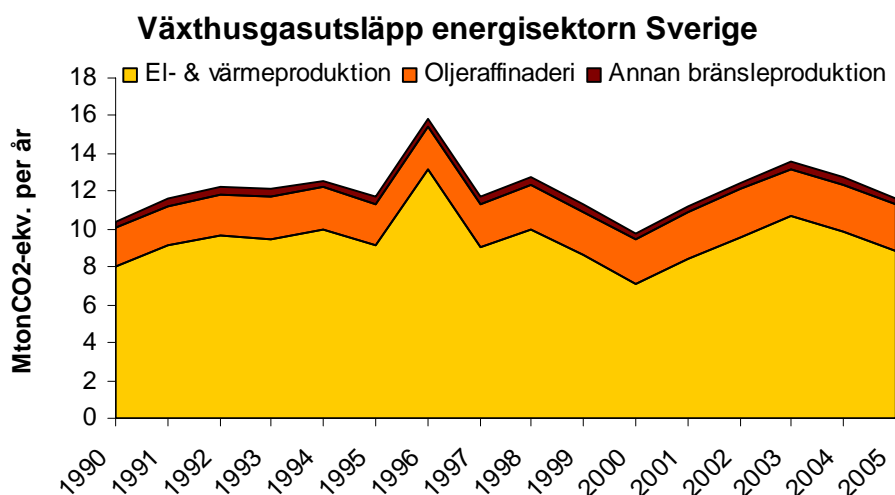
I detta kapitel behandlas de utsläppskällor som redovisas som energiindustri inom utsläppsstatistik. Det gäller el- och fjärrvärmeproduktion, raffinaderier och omvandling av fasta bränslen till gas- eller flytande form. När det gäller åtgärds-kostnadsmöjligheter och kostnader är det en något annorlunda uppdelning. I kapitel 5 om industrisektorn behandlas industriellt mottryck samt hyttgaser till el- och fjärrvärmeproduktion. Åtgärder för el- och fjärrvärmeproduktion från avfall behandlas här liksom i kapitel 7 om avfall. Orsaken till detta är att ett helhetsgrepp måste användas för att kunna analysera potentialer, kostnader och reduktionsmöjligheter från dessa delsektorer.

6.3 Utsläpp av växthusgaser från energiindustrin

I detta kapitel redovisas historiska utsläpp (1990-2005) från energiindustrin samt prognoser över förväntade utsläpp av växthusgaser.

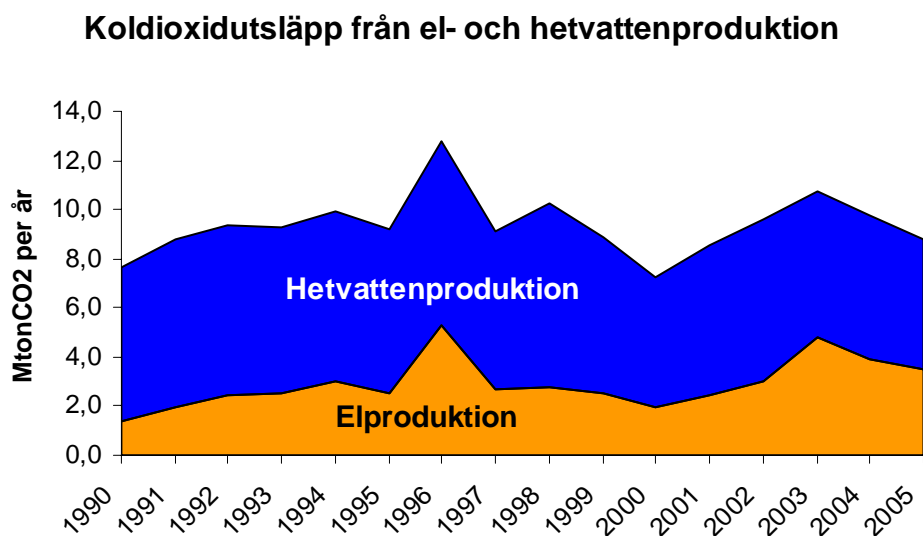
6.3.1 Historiska utsläpp

Utsläppen av växthusgaser från energiindustrin var 11,7 miljoner ton år 2005 vilket kan jämföras med 10,4 miljoner ton under 1990 (Figur 33). Utsläppen 2005 var således 12 procent högre 2005 än 1990. Omkring 96 procent av utsläppen är koldioxid och således har även koldioxidutsläppen ökat med nästan 12 procent. Lustgas har haft ungefär samma trend som koldioxidutsläppen medan metanutsläppen ökat med 223 procent mellan 1990 och 2005. Orsaken till denna kraftiga ökning är en betydligt större användning av bioenergi 2005 än under 1990.



Figur 33 Utsläpp av växthusgaser från energiindustrin

Den största utsläppskällan i sektorn är produktion av hetvatten (Figur 34). Utsläppen har överstigit de från elproduktion under hela perioden. Utsläppen från hetvattenproduktion har emellertid minskat sedan 1990 medan de har ökat för elproduktion.



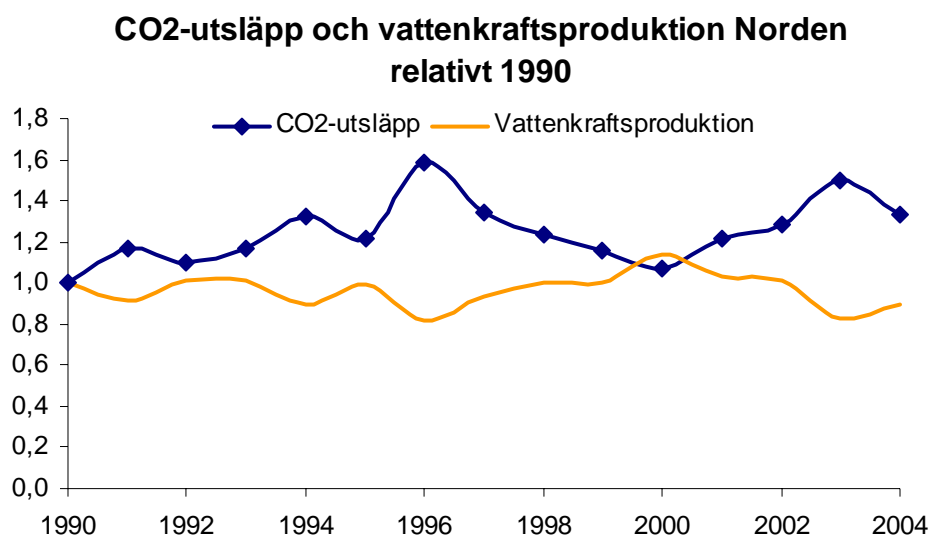
Figur 34 Utsläpp i Sverige från el- och hetvattenproduktion¹³⁷

I Norden har utsläppen av koldioxid från energiindustrin under perioden 1990-2004 ökat med 20,8 miljoner ton¹³⁸ vilket innebär en ökning med 33 procent. Mer än hälften av denna ökning har skett i Finland där användandet av fossila bränslen i energiindustrin ökat med omkring 40 procent.

¹³⁷ Utsläppen från kraftvärme produktion har allokerats i relation till hur mycket el respektive värme som produceras under ett år per bränsle.

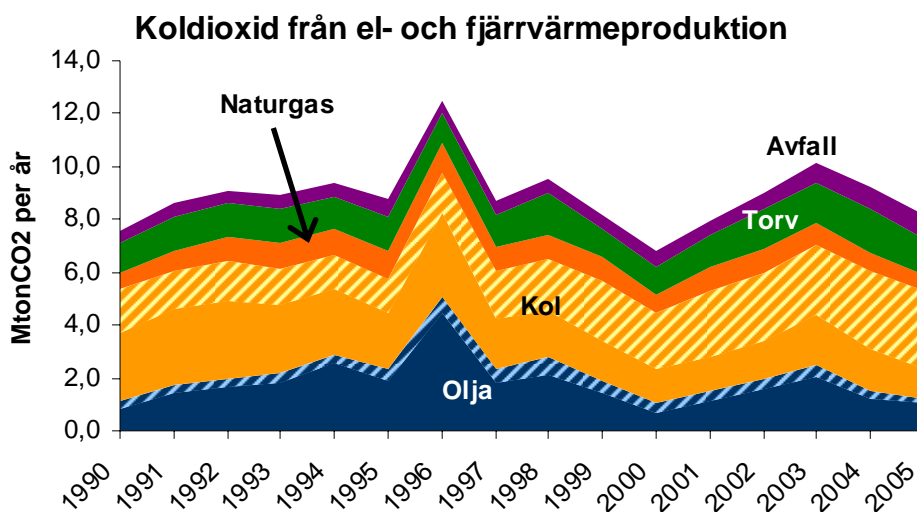
¹³⁸ Data från ländernas rapportering till UNFCCC, National Inventory Report 2006.

Utsläppen av växthusgaserna i Sverige har varierat år från år. Den främsta orsaken till detta är att uppvärmningsbehov och vattenkraftsproduktion varierar med temperaturen och nederbörden. Det illustreras tydligt av de höga utsläppen år 1996 som var ett kallt och torrt år samt av de låga utsläppen år 2000 som var ett varmt år med mycket nederbörd och därmed god tillgång på vattenkraft (Figur 35). Utsläppen påverkas också av vilken energikälla som används vid brist på vattenkraft. Den bristande vattenkraftsproduktionen år 1996 kompen-serades huvudsakligen med ökad oljekondensproduktion medan för år 2003, som också var ett år med låg vattenkraftsproduktion, så kompen-serades bristande vattenkraft till stor del med elimport till Sverige.



Figur 35 Utsläpp av koldioxid från energiindustrin i Norden och vattenkraftsproduktionen relativt 1990. Utsläppen och vattenkraftproduktionen antikorrelerar, d.v.s. när vattenkraftsproduktionen är stor så är koldioxidutsläppen längre.

Elproduktion och hetvattenproduktion påverkas i hög grad av temperatur och nederbörd tillsammans med energipriser, energiefterfrågan och överföringskapacitet till och från andra länder, skatter och andra styrmedel. Dessa faktorer påverkar vilka bränslen och vilken teknik som används. Däremot påverkas inte i samma utsträckning användningen av avfallsförbränning och förbränning av masugnsgas och koksugnsgas av dessa faktorer (Figur 36). Avfallsförbränningen har ökat något främst på grund av deponeringsförbud och att avfall är en billig resurs som kan utnyttjas. Mängden masugnsgas och koksugnsgas är istället helt kopplad till produktionen av koks och järn och stål. Dessa gaser utgör i dagsläget cirka en tredjedel av koldioxidutsläppen från el- och hetvattenproduktion.



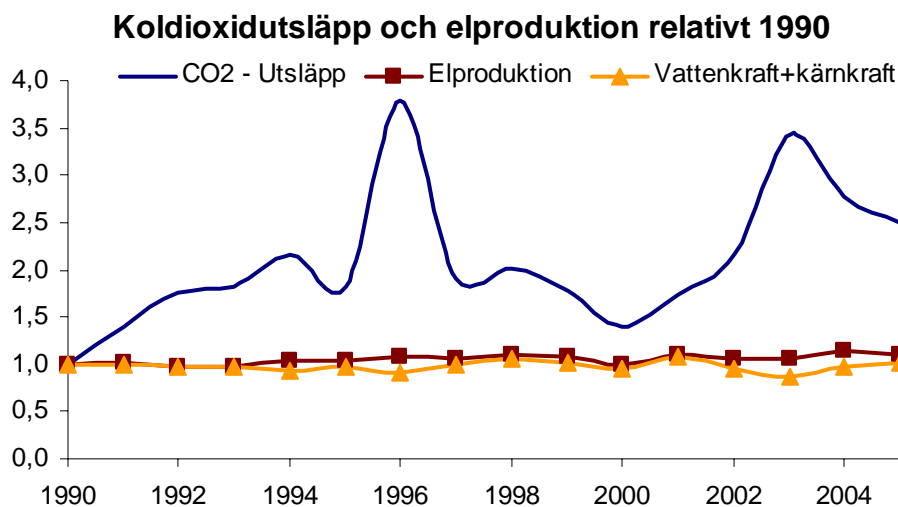
Figur 36 Koldioxidutsläpp från el- och fjärrvärmeproduktion uppdelat på bränslen. Kol och olja från industriellt mottryck och användning av koksugns gas, masugns gas och LD-gas är markerat med ränder.

Elproduktion

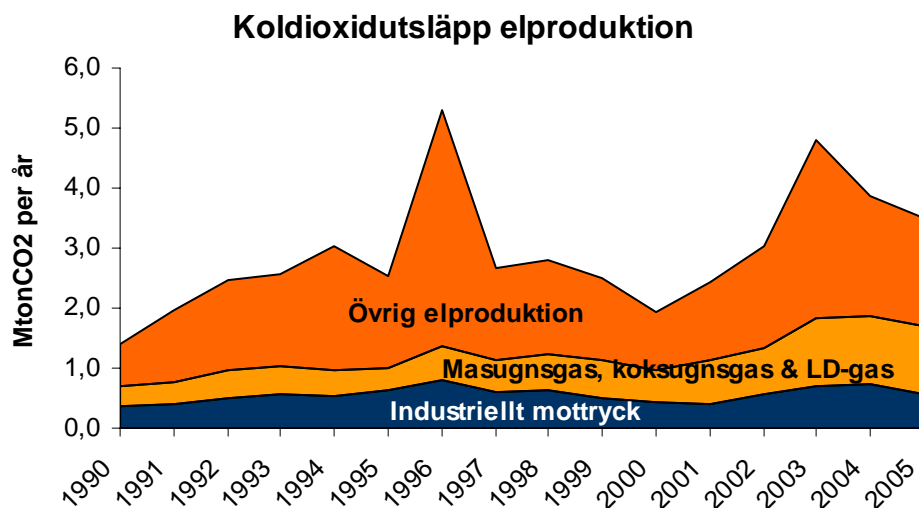
Utsläppen av koldioxid från elproduktion i Sverige kommer från förbränning av fossila bränslen i kraftvärmeverk och vissa år även från kondenskraftverk, t.ex. vid låg tillgång på vattenkraft. Dessa utsläpp har varierat under perioden främst beroende på tillgång på vattenkraft men en viss ökning har skett som ett resultat av ökad produktion i kraftvärmeanläggningar med såväl biobränsle som kol, koks- och masugns gas samt olja. Trenden har varit ökande utsläpp, 2005 var de nästan två och en halv gånger högre än 1990 (Figur 37). Förutsättningarna 1990 gjorde emellertid att utsläppen detta år var låga jämfört med ett normalår. Samtidigt har Sveriges totala elproduktion samt elproduktionen varit relativt stabila under hela perioden. Detta innebär att koldioxidutsläppen per producerad kWh har ökat i Sverige. Orsaken till detta är att andel elproduktionen från vattenkraft och kärnkraft som står för ungefär 95 procent av den totala elproduktionen sjunkit något och fossila bränslen har delvis kompenserat glappet till den totala elproduktionen. Industriellt mottryck och användandet av industrigas (masugns gas, koksugns gas och LD-gas) har ökat sedan 1990 och bidragit till de ökade utsläppen från sektorn (Figur 38).

År 2005 karaktäriserades av en stor tillrinning till vattenmagasinen i Sverige och Norden. Vattenkraftproduktionen var 72,9 TWh vilket kan jämföras med 67,5 TWh under ett normalår. Produktionen 2005 är dock omkring 6 TWh lägre än produktionen under 2000 och 2001. De svenska kärnkraftreaktorerna producerade mycket under året, nämligen 72,8 TWh. Samtidigt var elanvändningen något högre år 2005 än 2004 och det förekom en viss nettoexport av el.

Produktionen av biobränslebaserad kraftvärme var betydligt högre år 2005 än de tidigare åren, vilket torde bero på elcertifikatsystemet som ökar lönsamheten.



Figur 37 Koldioxidutsläpp, total elproduktion, produktion i vattenkraft och kärnkraft och elproduktion från bioenergi relativt 1990



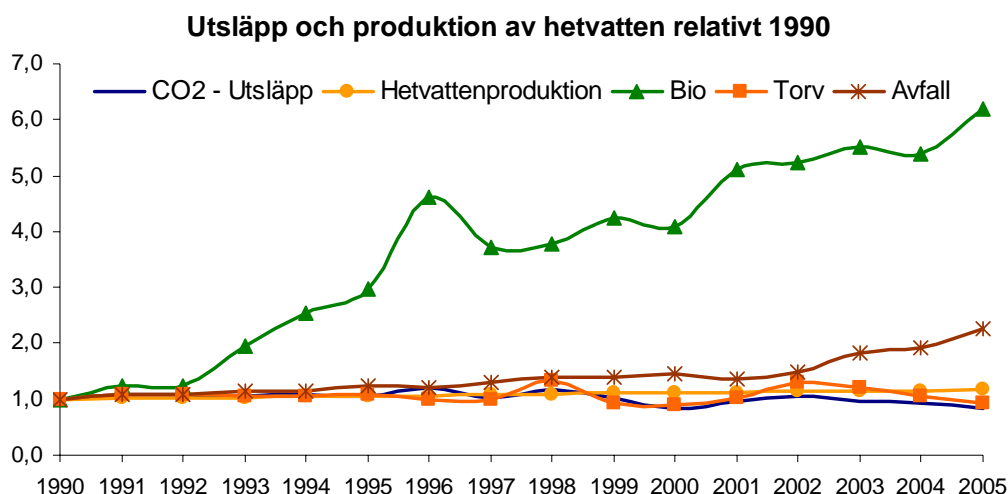
Figur 38 Koldioxidutsläpp från elproduktion uppdelat på el från industriellt mottryck samt industrigas och övrig elproduktion

Hetvattenproduktion

Under perioden har slutlig användning av fjärrvärme ökat från 41 TWh år 1990 till cirka 55 TWh år 2005. Samtidigt har den totala längden på distributionsnätet ökat från nästan 900 mil 1992 till 1 469 mil 2004. Nätet har således vuxit i en årlig takt som är dubbelt så snabb som den slutliga användningen vilket indikerar att värmeunderlaget blivit glesare.

Utsläppen har inte ökat, eftersom expansionen främst har skett genom en ökad användning av biobränsle (Figur 39). Utsläppen per kWh har därför minskat. År 1990 var användningen av biobränsle inkl. torv och avfall 10,4 TWh och den

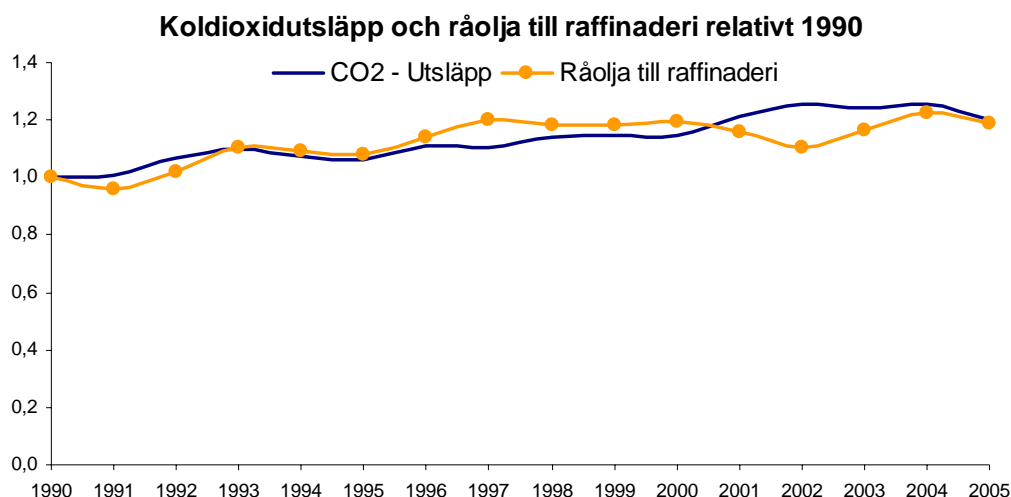
hade stigit till 36,1 TWh år 2005. Ser man bara till rena biobränslen så har den relativa ökningen varit ännu större (Figur 39). Energi- och koldioxidskatter har bidragit till denna utveckling. Användningen av kol har minskat genom att det har ersatts med biobränsle. Användningen av olja har varierat under perioden. Under 2005 användes något mindre olja än 1990, ungefär 3,1 TWh jämfört med 3,6 TWh. Ett kallt och torrt år som 1996 gjorde att oljeanvändningen ökade till nästan 10 TWh. Spillvärme används i viss mån, 3,4 TWh under 2005.



Figur 39 Koldioxidutsläpp, total hetvattenproduktion och hetvattenproduktion från biobränslen, sopor och torv relativt 1990

Produktion av oljeprodukter

Produktionen av raffinerade produkter har ökat i Sverige under perioden vilket har lett till en ökning av raffinaderiernas koldioxidutsläpp från 2,0 miljoner ton år 1990 till 2,4 miljoner ton år 2005 eller med cirka 20 procent (Figur 40). Koldioxidintensiteten per tillförd enhet råolja har ökat något under perioden. En trolig orsak till detta är de investering i processer som gjorts i raffinaderierna för att öka möjligheterna att producera mer avancerade produkter, större möjlighet att välja råolja av olika kvalitet och större möjlighet att variera utbudet av produkter utifrån efterfrågan. Andelen drivmedel har på bekostnad av brännolja ökat i produktion under perioden. Nästan alla processer på ett raffinaderi innefattar en förbränningsprocess. Omställningen har således inneburit ett större internt energibehov per inhämtad mängd råolja.



Figur 40 Koldioxidutsläpp och råolja till raffinaderier i Sverige relativt 1990

6.3.2 Framtida utsläpp

Enligt referensprognosen ökar Sveriges koldioxidutsläpp från energisektorn med omkring 40 procent jämfört med 1990 till 2015-2025¹³⁹. I detta avsnitt diskuteras viktiga faktorerna som påverkar utvecklingen innan utvecklingen i varje sektor redovisas.

6.3.3 Faktorer som påverkar utsläppsutvecklingen

Under nästan hela 1900-talet skedde investeringar i el- och hetvattenproduktion för att säkerställa samhällets funktioner och förväntade behov. Detta skapade förutsättningar för överinvesteringar. Under senare delen av 1900-talet flyttades istället fokus mot ekonomisk effektivitet och avreglerade energimarknader. Därmed har drivkrafterna delvis även skiftat. Idag är viktiga faktorer som påverkar växthusgasutsläppen från el- och fjärrvärmeproduktion:

- 1 Den ekonomiska utvecklingen, inte minst för att denna är viktig för behovet i användarsektorerna
- 2 Om energimarknaderna fungerar så att de skapar incitament för rationella investeringar och effektiviseringar
- 3 Priser
- 4 Teknisk utveckling
- 5 Styrmedel

Den ekonomiska utvecklingen påverkar sektorers efterfrågan på framförallt elektricitet och petroleumprodukter och därmed utsläppen från elproduktion och raffinaderier. En hög BNP tillväxt har historiskt inneburit ökad efterfrågan på elektricitet och högre växthusgasutsläpp. Efterfrågan på fjärrvärme är i Sverige

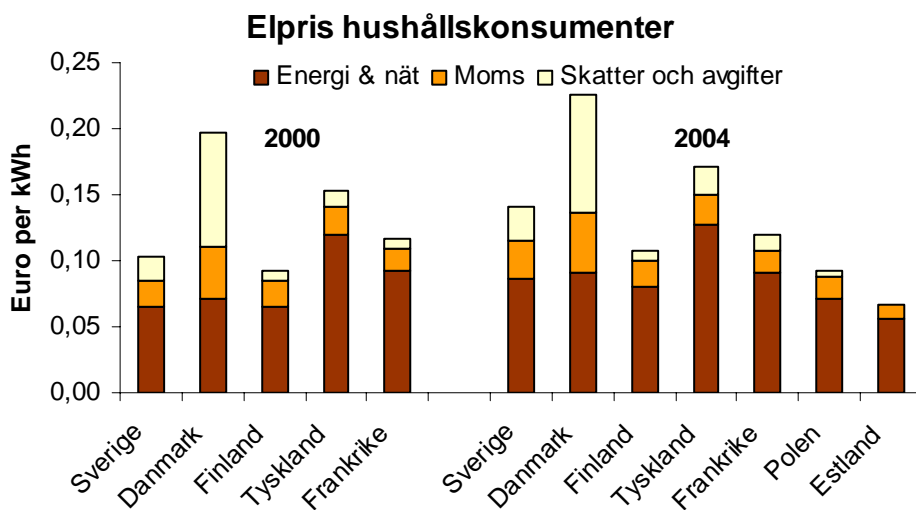
¹³⁹ Enligt underlagsrapport i kontrollstationsarbetet, ”Prognoser för utsläpp och upptag av växthusgaser”.

mindre relaterad till ekonomisk tillväxt. Den viktiga faktorn för variationer är istället utomhustemperaturen och fjärrvärmens konkurrenskraft jämfört med andra uppvärmningsformer.

På elmarknaden bestäms elpriset på systemnivå av marginalkostnaden för elproduktionen. Marginalkostnaden att producera el varierar över året och mellan olika år beroende på efterfrågan och hur elsystemet är sammansatt. Den kortsiktiga marginalkostnaden som elproducenterna bjuder in utgörs av rörlig produktionskostnad, normalt med visst påslag för täckning av fasta kostnader och vinst. Ett undantag är vattenkraften där marginalkostnaden baseras på ett beräknat alternativvärde, det så kallade väntevärdet, som motsvaras av alternativkostnaden av att använda vattenmagasinen idag istället för att tömma magasinet vid ett senare tillfälle. Den långsiktiga marginalkostnaden bestäms av de totala produktionskostnaderna, d.v.s. både de fasta och de rörliga kostnaderna. Om marknaden fungerar väl blir det lönsamt att investera i ny elproduktionskapacitet när de kort- och långsiktiga marginalkostnaderna är i nivå med varandra. Fungerar inte elmarknaden särskilt väl så överstiger den kortsiktiga marginalkostnaden den långsiktiga innan investeringar i ny kapacitet sker.

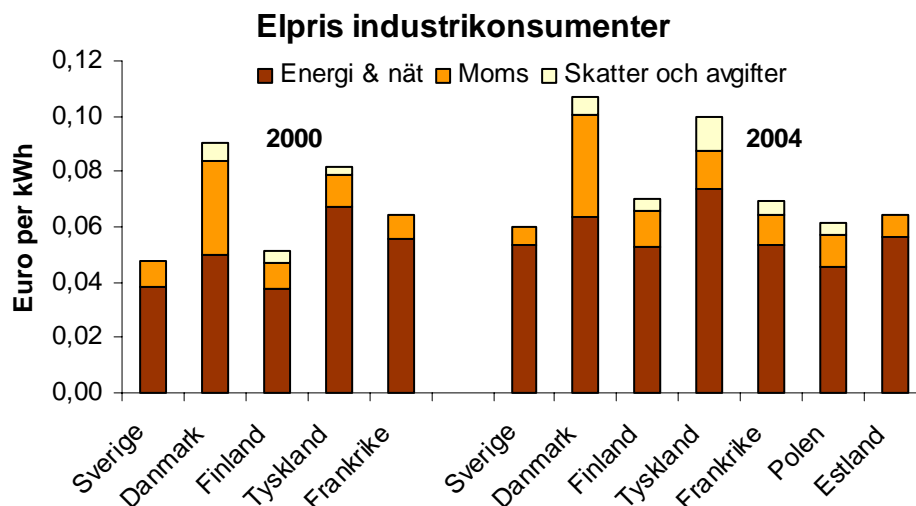
Den slutgiltiga elproduktionen påverkas således av om elmarknaden fungerar väl. Elbehovet styrs dock inte enbart av elpriset utan även av nätavgifter, skatter och andra avgifter. Värdet på dessa ofta fiskala styrmedel skiljer mellan olika konsumenter (stor elintensiv industri, mellanstor industri, elvärme eller hushållsel) och därmed skiljer även vikten av dem för elanvändningen. Vikten av en väl fungerande elmarknad är störst för stor elintensiv industri då avgifterna och skatten här är lägst (Figur 42). Hushåll betalar mest för sin elektricitet och därmed är nivån på styrmedlen viktigast för denna konsumentgrupp (Figur 41).

Hur mycket el som kommer produceras i Sverige skulle kunna förändras när Nordens elsystem och elmarknad integreras med övriga Europa. Elsystemen är redan idag delvis integrerade vilket gör att elpriset för konsumenter inte skiljer mycket åt (Figur 41 & Figur 42). En harmoniserad marknad kommer troligen inte leda till markant förändrade elpriser för produktion och nät i Sverige då de idag ligger nära genomsnittet i Europa. En harmonisering skulle framförallt leda till att priset för elproduktion och nät i Norden blev mer stabilt då effekten av torrår och våtår blir mindre. Detta kommer även att innebära att utsläppen från energisektorn i Sverige kan förväntas variera mindre eftersom kalla och torra år kan hanteras med import av el istället för ökad topplastproduktion med olja vilket var fallet t.ex. 1996. Värt att notera är att en harmonisering med tyska marknaden skulle leda till högre elpris och mer export av el från Sverige. Detta kan dock förväntas motverkas av import av elektricitet från forna sovjetblocket där elpriset generellt är lägre än i Norden.



Figur 41 Konsumentpriser på el för hushållskunder med en förbrukning av 3500 kWh per år. 2000 var ett våtår i Sverige medan 2004 var ett torrår

Källa: Eurostat (2007)



Figur 42 Konsumentpriser på el för industri med en förbrukning av 2000 MWh per år. 2000 var ett våtår i Sverige medan 2004 var ett torrår. Sverige har infört långsiktigt avtal, PFE, som ersätter elskatten (miniminivån).

Källa: Eurostat (2007)

Fjärrvärmemarknaden utgör lokala marknader där kunden oftast bara kan välja en leverantör. Detta gör att prissättningen inte sker i konkurrens med andra fjärrvärmeleverantörer. Fjärrvärmeleverantören konkurrerar dock med andra alternativ för uppvärmning och man kan därför förvänta sig att fjärrvärmepriset sätts utgående från de konkurrerande alternativen. Efterfrågan på fjärrvärme styrs därför i stor utsträckning av priset på alternativ.

Fjärrvärmeproducenter har stor substituerbarhet mellan bränslen och utsläppen styrs därför av bränsleprisförhållanden. Ett högt pris på flis och annan bioenergi gör till exempel kol mer lönsamt. Styrmedel som påverkat bränsleprisförhållanden har därför visat sig ha stor effekt på fjärrvärmemixen.

Utsläppen av växthusgaser kommer även påverkas av den tekniska utvecklingen, inte enbart i produktionsteknologierna för el och värme utan även den tekniska utvecklingen i sektorer som använder el och värme. En relativt nära förestående utveckling om det finns ett pris på utsläpp av växthusgaser är koldioxidavskiljning och lagring från stationär förbränning (både fossila bränslen och biomassa)¹⁴⁰.

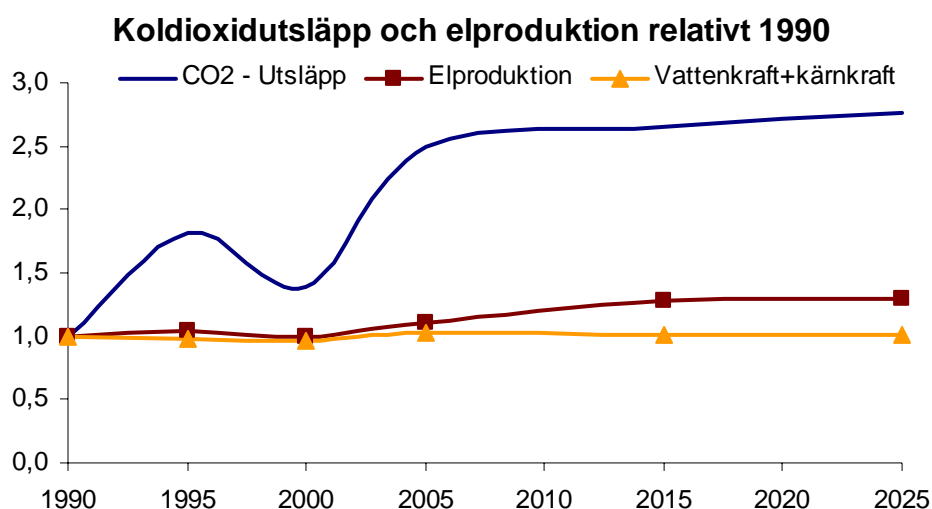
Elproduktion enligt prognos

Enligt referensprognosen kommer koldioxidutsläppen från elproduktion öka kraftigt de kommande åren, 2015 är de nästan tre gånger högre än 1990 (Figur 43). Denna ökning är också den viktigaste faktorn för att hela sektorns utsläpp ökar.

Den främsta orsaken till de högre utsläppen från elproduktion är en ökad användning av naturgas i kraftvärmeverk. En ökad användning av hyttgas i kraftvärmeverk och som industriellt mottryck är också en viktig orsak. De ökade utsläppen är således beroende av en förväntad produktionsökning inom järn- och stålindustrin.

Elproduktionen ökar något enligt referensprognosen vilket är en av orsakerna till att utsläppen kan öka, ökningen skulle dock kunna mötas med mer elproduktion från förnybar energi och därmed skulle det inte bli någon effekt på utsläppen. Värt att notera är dock att elproduktionen 2015 från bioenergi ökar med 50 procent jämfört med 2005, elproduktionen från avfall mer än tredubblas och elproduktionen från vindkraft nästan tiodubblas. I prognosen ökar elanvändningen i Sverige samt exporten.

¹⁴⁰ För fler detaljer, se Energimyndigheten (2007)

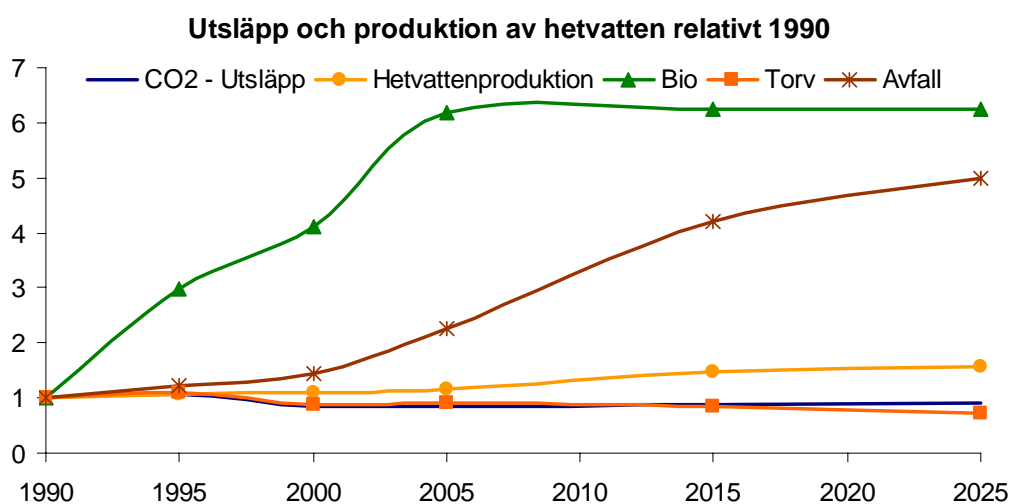


Figur 43 Koldioxidutsläpp, total elproduktion samt produktion i vattenkraft och kärnkraft relativt 1990

Hetvattenproduktion enligt prognos

Koldioxidutsläppen från hetvattenproduktion är relativt konstant under det kommande decenniet i prognosen vilket innebär att utsläppen är 10-15 procent under nivån 1990 (Figur 44).

Hetvattenproduktionen antas öka framöver men man ser inte samma expansion av förnybar produktion som under slutet av 1990-talet. Den största förändringen är istället att hetvattenproduktionen från avfall ökar medan torv minskar.



Figur 44 Koldioxidutsläpp, total hetvattenproduktion och hetvattenproduktion från bio-bränslen, sopor och torv relativt 1990

Produktion av oljeprodukter enligt prognos

Koldioxidutsläppen från raffinering av olja mer än fördubblas i referensprognosen fram till 2025 jämfört med 1990. Orsaken till detta är en ökad raffinering i Sverige samt att mer process steg används.

6.3.4 Slutsatser

Utsläppen av växthusgaser från energisektorn har ökat med ungefär 12 procent mellan 1990 och 2005. Utsläppen förväntas även öka de närmsta decennierna.

Ökningen av koldioxidutsläppen är orsakade av och förmodas orsakas av förbränning i elproduktion och raffinaderier. Utsläppen av koldioxid från elproduktion i Sverige kommer från förbränning av fossila bränslen i kraftvärmeverk och vissa år även från kondenskraftverk, t.ex. vid låg tillgång på vattenkraft. Dessa utsläpp har varierat under perioden främst beroende på tillgång på vattenkraft men en viss ökning har skett som ett resultat av ökad produktion i kraftvärmeanläggningar med såväl biobränsle som kol, koks- och masugns gas samt olja. Enligt referensprognosen kommer koldioxidutsläppen från elproduktion öka kraftigt de kommande åren. Framförallt beror detta på en ökad användning av naturgas för elproduktion samt att produktionen inom järn- och stålindustrin förväntas öka och därmed användandet av hyttgas i kraftvärmeverk och som industriellt mottryck.

Produktionen av raffinerade produkter har ökat med ungefär 20 procent mellan 1990 och 2005. Samtidigt har koldioxidintensiteten per tillförd enhet råolja ökat. En trolig orsak till detta är de investeringar i processer som gör det möjligt att producera mer avancerade produkter, större möjlighet att välja råolja av olika kvalitet och större möjlighet att variera utbudet av produkter utifrån efterfrågan. Utvecklingen med ökad produktion och mer komplexa processer förväntas fortsätta de närmsta åren.

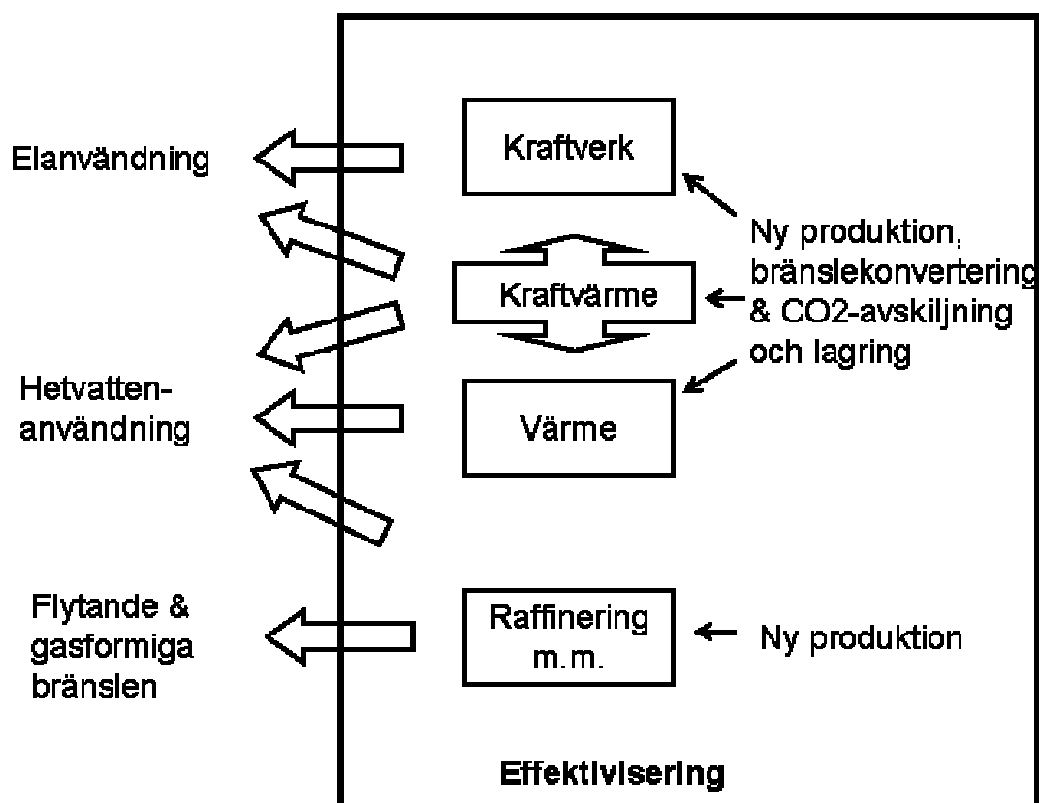
Mellan 1990 och 2005 har den slutliga användningen av fjärrvärme ökat från 41 TWh till ca. 55 TWh. Utsläppen har emellertid inte ökat eftersom expansionen främst skett genom en ökad användning av biobränslen. Fjärrvärmeproduktionen förväntas öka något framöver, men utsläppen kan fortsätta vara ganska stabila jämfört med idag.

6.4 Åtgärds möjligheter och kostnader

6.4.1 Principiell översikt av åtgärder

I detta kapitel redovisas en beskrivning över möjliga åtgärder för att reducera växthusgasutsläppen i el- och värmeproduktionssektorn och produktion av oljeprodukter. Åtgärderna delas in i nio övergripande grupper, vilket delvis schematiskt är illustrerat i Figur 45.

- 1 Konvertering av bränslen
- 2 Effektivisering
- 3 Ökad kraftvärmeproduktion
- 4 Ökad icke fossil elproduktion
- 5 Ökad icke fossil värmeproduktion
- 6 Koldioxidavskiljning och lagring
- 7 Minskat läckage av växthusgaser
- 8 Spillvärmeutnyttjande
- 9 Harmonisering av elmarknader



Figur 45 Schematisk illustration över åtgärder för att minska utsläppen av växthusgaser från el- och värmeproduktion samt vid produktion av oljeprodukter

6.4.2 Beskrivning av de olika åtgärdsgrupperna

Konvertering av bränslen i värmeverk och kraftvärmeverk leder till reducerade växthusgasutsläpp om bränslen med hög koldioxidintensitet ersätter bränslen med lägre koldioxidintensitet.

Effektivisering av en anläggning eller ett system leder till reducerade växthusgasutsläpp om effektiviseringen minskar förbrukningen av fossila bränslen för att uppnå samma nytta eller använder samma energimängd och får större nytta.

Ökad kraftvärmeproduktion leder till reducerade växthusgasutsläpp förutsatt att el- och värmeproduktionen ifrån kraftvärmen ersätter fossil el- eller värmeproduktion med sämre verkningsgrad än kraftvärmen, alternativt att man undviker en expansion av fossil el- eller värmeproduktion. I Figur 45 illustreras detta med att kraftvärmen ersätter värmeverk respektive kraftverk. Beakta att kraftvärmen kan vara fossileldad men ändå leda till reducerade växthusgasutsläpp. Detta beror på kraftvärmens höga effektivitet. Denna analys gäller inte enbart kraftvärme utan generellt samproduktion av flera energibärare.

Ökad icke fossil elproduktion leder till reducerade koldioxidutsläpp förutsatt att den ökade produktionen ersätter fossil elproduktion alternativt att man undviker en expansion av fossil elproduktion. Den nya elproduktionen kan också ersätta fossil elproduktion inom samma anläggning.

Ökad icke fossil värmeproduktion leder till minskade utsläpp förutsatt att den ökade produktionen ersätter fossil värmeproduktion alternativt att man undviker en expansion av fossil värmeproduktion. Om produktion täcker ett växande värmeunderlag minskar utsläppen genom att annan mer koldioxidintensiv produktion undviks.

Avskiljning och lagring av koldioxid från större förbränningsanläggningar kan göra dessa nästan koldioxidneutrala om de är fossilbaserade eller fungera som en sänka om anläggningen är bioenergibaserad.

Minskat läckage av växthusgaser. Det finns en potential att minska läckaget av metan från hanterandet av gasformiga bränslen och från gasifiering av fasta bränslen.

Ökat spillvärmeutnyttjande har potential att minska utsläppen av växthusgaser genom att direkt ersätta fossil värme eller indirekt genom att frigöra förnybara resurser för el- eller transportbränsleproduktion.

Utöver detta så har sektorn utbyte med de tre användarsektorerna *industri, bostäder och service* samt *transporter*. Förändrade leveranser mellan dessa sektorer kan leda till reducerade koldioxidutsläpp. T.ex. kan ökad användning av bio-bränslebaserad fjärrvärme på bekostnad av enskilda oljepannor i bostadssektorn reducera de sammantagna koldioxidutsläppen. På samma sätt kommer t.ex. ökad eller minskad användning av el till transporter att påverka koldioxidutsläppen. Sådana här effekter som uppstår genom utbyte av energibärare mellan sektorer kommer inte att tas upp i denna rapport utan i respektive användarsektor.

Utbyte av energibärare mellan användarsektorerna är också intressant med avseende på systemet för handel med utsläppsrätter. Användarsektorerna bostäder och service, transportsektorn samt stora delar av industrisektorn står utanför handelssystemet vilket el- och värmeproduktion inte gör. Utbyte av energibärare mellan dessa sektorer kopplar alltså ihop den handlande sektorn med den icke

handlande sektorn, t.ex. kan en konvertering som leder till minskade utsläpp inom den handlande sektorn leda till att utsläppen utanför den handlande sektorn ökar.

Nedan följer en mer utförlig beskrivning av sex av de olika alternativen för att minska utsläppen av växthusgaser.

Bränslekonvertering

Konvertering från fossila bränslen till förnybara bränslen i en befintlig anläggning ger direkt reducerade koldioxidutsläpp och är sannolikt den typ av åtgärd som kan ge störst förändring av koldioxidutsläpp.

I praktiken är vissa konverteringar lättare än andra och vissa är i princip omöjliga utan att hela pannan måste byggas om från grunden. En pannas utformning är i allt väsentligt knuten till vilket bränsle som eldas t.ex. eldstadens volym, rökgångarnas volym och eldningsutrustning. De pannor som kräver störst volym i förhållande till effekt är sodapannorna. Sedan blir pannorna mindre och mindre och minst är naturgaspannorna. Rökgångarnas volym behöver vara olika stora beroende av bränsle eftersom olika bränslen ger olika volym rökgaser vid samma effekt. Fasta bränslen eldas t.ex. på en s.k. roster eller en s.k. bubblande bädd i botten av pannan. Olja och gas eldas med brännarmunstycken monterade på olika höjd i pannväggen.

Av detta framgår att det krävs stora investeringar för att konvertera från olja och gas till fasta bränslen. Dessa är enbart intressanta när en hel anläggning byggs om. Det är däremot möjligt att byta mellan fasta bränslen, att samelda fasta bränslen, eller att gå från fasta bränslen till olja eller gas. I princip alla pannor har oljebrännare installerade för start, stopp och stödeldning.

Effektivisering

Effektivisering av en el-, värmeproduktionsanläggning eller raffinaderier samt distributionsnät innebär att förlusterna minskar och mer nytta erhålls ur tillförd energi. För att en effektivisering skall leda till reducerade koldioxidutsläpp måste den effektiviserade anläggningen vara fossileldad eller tränga undan fossil produktion i någon annan anläggning.

Att anläggningen är så effektiv som möjligt ligger i ägarens intresse och detta arbete pågår således kontinuerligt. Många effektiviseringar kräver emellertid investeringar och den ökade nyttan måste då vägas mot kostnaden för investeringen. Ett exempel på effektivisering är att förse pannor som eldar biobränsle, avfall, torv eller naturgas med rökgaskondensering. En rökgaskondenseringsutrustning kondenserar vattenånga i rökgaserna och detta ökar värmeeffekten ifrån pannan med 15- 25 %. Samtidigt minskar elutbytet något om det är en kraftvärmeanläggning.

Det finns även en potential i att reducera förlusterna från vissa fjärrvärmenät. Det flesta fjärrvärmenät har en förlust på ungefär 10 procent, det finns emellertid gamla nät som har förluster på upp till 40 procent.

Ökad kraftvärmeproduktion

En ny kraftvärmepanna påverkar och tränger undan befintlig el- och värmeproduktion vilket illustreras i Figur 45. Kraftvärme ger därför ofta till minskade koldioxidutsläpp. Detta kan också vara fallet även om kraftvärmen eldas med fossila bränslen.

Det kan emellertid vara komplicerat att överblicka effekterna av kraftvärme eftersom hänsyn måste tas till vilken el- och värmeproduktion som den nya kraftvärmepannan ersätter. Följande 7 huvudsakliga varianter finns:

- 1 *Fossileldad* kraftvärme ersätter fossil separat el- och värmeproduktion.
- 2 *Fossileldad* kraftvärme ersätter bioeldad värmeproduktion och fossil elproduktion.
- 3 *Fossileldad* kraftvärme ersätter en mix av andra värmeproduktionstekniker som t.ex. bio- och fossileldade värmepannor eller kraftvärmepannor, värmepumpar, elpannor, spillvärme samt fossil elproduktion.
- 4 *Bioeldad* kraftvärme ersätter fossil separat el- och värmeproduktion.
- 5 *Bioeldad* kraftvärme ersätter bioeldad värmeproduktion och fossil elproduktion.
- 6 *Bioeldad* kraftvärme ersätter en mix av andra värmeproduktionstekniker som t.ex. bio- och fossileldade värmepannor eller kraftvärmepannor, värmepumpar, elpannor, spillvärme samt fossil elproduktion.
- 7 *Ny kraftvärme* täcker upp ökande efterfrågan på värme. Elen som produceras ersätter fossil elproduktion.

Det går inte att generellt säga att alla varianter ovan leder till reducerade koldioxidutsläpp. Varje fall måste betraktas separat i det fjärrvärmesystem där åtgärden görs. Generellt kan dock sägas att variant 1, 4, 5 och 6 med största sannolikhet leder till reducerat koldioxidutsläpp.

Potentialen för kraftvärme är beroende av hur stort värmeunderlaget är samt hur värmeunderlaget utvecklas med tiden. Värmeunderlaget utgörs av fjärrvärmeutbyggnaden i landet. År 2005 var leveranserna av fjärrvärme drygt 47 TWh. Tillförd energi var drygt 55 TWh. Svensk fjärrvärme och Energimyndigheten räknar i sina prognoser med att värmeunderlaget kommer att öka i framtiden. För att få ekonomi i en kraftvärmeanläggning krävs emellertid att värmeunderlaget är tillräckligt stort. Många fjärrvärmenät är för små för att rymma kraftvärme. År 2005 producerades 7,2 TWh el i kraftvärme varav ungefär 4,4 TWh från biobränsle (inkl. torv och avfall), 0,4 TWh från olja, 1,9 TWh från kol samt 0,5 TWh från naturgas.

I rapporten *Kraftvärme i framtiden*¹⁴¹ görs en realistisk bedömning av den ekonomiska potentialen för kraftvärmeutbyggnad till år 2015 med hänsyn tagen till företagens aktuella planer. Resultatet är robust kring nivån 15 TWh. Känslighetsanalyserna uppvisar intervallet 11,8-18,6 TWh el per år i kraftvärmedrift.

I rapporten är de helt dominerande bränslena i grundfallet biobränslen och avfall. Naturgasanvändningen är blygsam. Det krävs relativt stora förändringar av undersökningens grundförutsättningar för att naturgas skall bli mer lönsamt än biobränsle, t.ex. ett elcertifikatpris på 0 kr/MWh kombinerat med ett naturgaspris på 115 kr/MWh. I beräkningarna antas ett årligt genomsnittligt elpris på den nordiska elmarknaden på 28 öre/kWh i referensfallet och 33 öre per kWh i en känslighetsanalys.

Potentialen för ytterligare utbyggnad av kraftvärme kan således antas vara drygt 7 TWh el till år 2015 utifrån de antaganden om bränslepriser och styrmedel som använts i rapporten.

I översynen av elcertifikatsystemet bedömdes även potentialen för biobränsleeldad kraftvärme samt tillgången på biobränslen. Den rimliga potentialen till år 2010 bedömdes till sammanlagt 4,5 TWh el och till år 2015 bedömdes den till sammanlagt 6 TWh el inklusive den dåvarande produktionen på ca. 3 TWh el per år. Tillgången på biobränslen bedömdes inte utgöra någon begränsning. Ur rapporten *Kraftvärme i framtiden* kan potentialen för biokraftvärme uppskattas till mellan 7,5-10 TWh el år 2015. Potentialen för biokraftvärme begränsas av det tillgängliga värmeunderlaget, av tillväxten på värmeunderlag samt konkurrens med andra bränslen och värmeproduktionstekniker.

Ökad förnybar elproduktion och kärnkraft

De största potentialerna för ökad icke fossil elproduktion finns i vindkraft, kärnkraft, biokraft och vattenkraft. Dessa behandlas nedan.

Potentialbedömningar i texten nedan bygger på en litteraturstudie genomförd av Profu¹⁴² samt energimyndighetens översyn av elcertifikatsystemet¹⁴³.

Vindkraft

Vid översynen av elcertifikatsystemet som Energimyndigheten utförde hösten 2004 bedömdes potentialen för vindkraft. Den naturliga potentialen är mycket stor. Den tekniska potentialen bedömdes emellertid till 30 TWh eftersom vindkraften måste samköras med reglerbar kraft i elsystemet. Den ekonomiska potentialen bedömdes också till 30 TWh i kostnadsintervallet 45-60 öre/kWh. Vindkraftens största begränsning ligger sannolikt i möjligheterna och handläggningstiderna för att få tillstånd samt osäkerheter i utvecklingen av de styrmedel som påverkar vindkraftens utveckling. Av denna anledning bedömdes en rimlig

¹⁴¹ Elforsk (2005)

¹⁴² Profu (2006)

¹⁴³ Energimyndigheten (2005)

potential år 2015 till 10 TWh inklusive befintlig produktion och begränsades främst av kända planer och hur långt dessa kommit i tillståndsprocessen, d.v.s. att planeringsmålet blir uppfyllt. År 2006 var befintlig produktion 1 TWh.

Vattenkraft

Även potentialen för vattenkraftsutbyggnad bedömdes i översynen av elcertifikatsystemet. Ett rimligt tillskott i vattenkraften bedömdes till drygt 0,4 TWh ökning mellan år 2002 och 2010. Av detta utgör merparten effektivisering i befintlig storskalig vattenkraft (>1,5 MW) och 50 GWh utgörs av utbyggnad av ny småskalig vattenkraft (<1,5 MW). Det bedömdes inte troligt med någon nämnvärd utbyggnad av ny storskalig vattenkraft. Fram till 2015 är en rimlig bedömning att vattenkraften kan producera 2-5 TWh mer per år.

Potentialen för nybyggnad av storskalig vattenkraftutbyggnad begränsas i första hand av negativa effekter på biologisk mångfald, levande sjöar och vattendrag. Potentialen för ytterligare småskalig vattenkraftsutbyggnad begränsas i första hand av en stark opinion mot en sådan utbyggnad vilket gör det mycket svårt att få tillstånd.

Effektiviseringspotentialen finns framförallt i de äldre anläggningarna och består av förbättringar i samband med förnyelsearbeten, t.ex. vidgade vattenvägar, förbättrad strömning genom tunnlar och kanaler, reduktion av "spillet" förbi turbinerna, byte av turbinens löphjul samt byte av generator/transformator.

Kärnkraft

Det finns utrymme för effekttökningar i svenska kärnkraftverk. Idag pågår planering för såväl större som mindre effekttökningar vid de svenska kärnkraftverken. Ökning av den elektriska effekten från en reaktor kan i huvudsak ske på två sätt: att höja den termiska effekten i reaktorn eller att förbättra anläggningens elverkningsgrad genom t.ex. byte av hög- eller lågtrycksturbiner. I många fall är båda åtgärderna aktuella. För att höja reaktoreffekten krävs emellertid regeringsbeslut.

Energimyndigheten har efter samtal med kärnkraftsföretagen sammanställt de planer som finns. Sammanlagt handlar det om en ökad elproduktionskapacitet på 890 MW varav 240 MW har fått tillstånd hittills. Med antaganden om 80 % energiutnyttjningsgrad skulle den ökade kapaciteten leda till ytterligare 6,2 TWh el per år. Enligt planerna ska åtgärderna för att öka kapaciteten vara genomförda år 2010.

Ökad hetvattenproduktion från förnybar energi

I genomsnitt producerade fossila bränslen 13 TWh per år mellan 2000 och 2005 vilket resulterade i ett koldioxidutsläpp på ungefär 4,7 miljoner ton per år. Utsläpp från förbränning av kolprodukter bidrog till dessa utsläpp, 1,7 miljoner ton per år i genomsnitt, men mer är hälften härrörde från energigaser (energigaser stod dock enbart för en fjärdedel av den kolbaserade kolproduktionen). Utöver förbränning av fossila bränslen så bidrar den ökande förbränningen av sopor till en stor del av fjärrvärmesektorns utsläpp, 0,8 miljoner ton koldioxid under 2005.

Det finns resurser för att göra hela fjärrvärmesystemet förnybart. Framförallt kan bioenergianvändningen och avfall utan fossila inslag förväntas öka ytterligare i ett sådant fall.

Spillvärme

Spillvärmen, definierad som överskottsenergi som inte kan nyttiggöras internt och där alternativet är att värmen släpps ut till omgivningen, uppstår i olika delprocesser inom industrin. Delprocesserna har olika förutsättningar för spillvärmeåtervinning, beroende på tillgänglighet, temperaturnivåer och kostnader. De vanligaste processerna är torkning, rökgaskylning, produktkylning och indunstning/kondensering.

Den installerade effekten för spillvärme har i flera av spillvärmeprojekten dimensionerats för att klara leveranserna under större delen av vintern. På sommaren finns inte avsättning för all tillgänglig spillvärme. De totala fjärrvärmeleveranserna har för de berörda tätorterna ökat med 50 procent. Spillvärmens andel har samtidigt ökat från drygt 40 procent till i genomsnitt 80 procent av fjärrvärmeproduktionen. Sju av de tolv projekten resulterade i en spillvärmeandel på över 90 procent.

Den totala teoretiska potentialen för spillvärmeutnyttjande i fjärrvärmenäten i Sverige har bedömts vara 9,5 TWh, d.v.s. en dryg fördubbling av dagens leveranser skulle vara möjlig¹⁴⁴.

Raffinaderier

Det finns flera källor till växthusgasutsläpp vid ett oljeraffinaderi. Utsläppen från ett raffinaderi beror framförallt på råoljans densitet (API), ”cracking”, hur stor andel som skall gå till lätta och mellanfraktioner vilket kräver fler processer.

Den stabila trenden de senaste 15 till 20 åren är att efterfrågan är högst för mellandestillaten, det som kallas för ”gasoil”, under det att intresset för tunga eldningsoljor, numera kallade ”residual oil” är så lågt att priset som regel inte täcker raffinaderikostnaden.

En given mängd råolja av en viss kvalitet kan beroende på raffinaderiets konfiguration ge ett mycket varierande utbyte av produkter. Ofta skiljer man mellan två tekniker ”hydroskimning” och ”cracking”. Hydroskimning är raffinaderier baserade på äldre teknik och med små möjligheter att variera produktutbytet av en given råolja. Cracking innebär å den andra sidan att produktutbytet kan varieras utgående från efterfrågan och därmed prisbilden. Det finns även kvar enklare raffinaderier där råoljans olika fraktioner avskiljs genom destillation. Den mängd gasol, bensin, gasolja, eldningsoljor och restprodukter som kan produceras ur dessa raffinaderier bestäms av råoljans kvalitet. Ju lättare råolja desto mer lätta fraktioner och omvänt för tunga råoljor.

¹⁴⁴ Byman (2004)

De ökade miljökraven på produkterna från oljeraffinaderierna i Sverige har lett till investeringar i nya processer. Nästan alla processer på ett raffinaderi innefattar en förbränningsprocess vilket medför att ökad komplexitet leder till ett större energibehov. Upphettnings sker i regel indirekt i ugnar som värms med oljeprodukter. På de bränsleproducerande raffinaderierna dominerar s.k. raffinaderigas. Det är gaser som uppkommer vid olika processer på raffinaderiet och som separeras från produktströmmar och leds till ett separat internt bränslesystem.

Utsläppen av växthusgaser från raffinaderier kan ske genom effektiviseringsåtgärder eller att ersätta olja med bränslen med lägre kolinnehåll i processerna, t.ex. naturgas.

Exempel på åtgärder för att åstadkomma en effektiv användning av energi

- Installation av avgaspannor
- Utökade värmeväxlarytor i värmeväxlare där kalla strömmar förvärms av varma produktionsströmmar
- Direktmatning av halvfabrikat till processer utan mellanlagring
- Effektiva förbränningsanläggningar
- Högeffektiva pumpar och kompressorer
- Utnyttjande av spillvärme
- Minimerad fackling, ex. genom installation av facklingskompressor.

Harmonisering av elmarknader

Som tidigare visats har Sveriges utsläpp varit väderberoende, under torra och kalla år har utsläppen varit höga medan de varit låga under blöta och varma år. En orsak till detta är användandet av olja som topplast i elsystemet. Detta behov kan dock förväntas minska om elsystemet i Europa integreras bättre. Då kan elimport ersätta topplastbehov från olja under torra och kalla år medan elexporten kan förväntas öka under varma år med bra tillrinning till vattenmagasinen.

Denna åtgärd påverkar således inte den generella utsläppstrenden i Sverige utan enbart de osäkerheter som orsakas av väderförhållanden. Åtgärden leder dessutom till förändrade utsläpp från det kontinentala elsystemet istället eftersom importen eller exporten av el kan förväntas påverka produktionen från kol-kondens eller gaskombi.

6.4.3 Beräkningar – vad kostar det och hur mycket reduceras

Befintlig el- och fjärrvärmeproduktion

IVL Svenska Miljöinstitutet¹⁴⁵ har genomfört en studie där 9 av de 13 största fjärrvärmenäten studerats (d.v.s. drygt 50 procent av de sammanlagda utsläppen från el- och värmeproduktion, exklusive kondensdrift). Utgångspunkten var den

¹⁴⁵ IVL(2005)

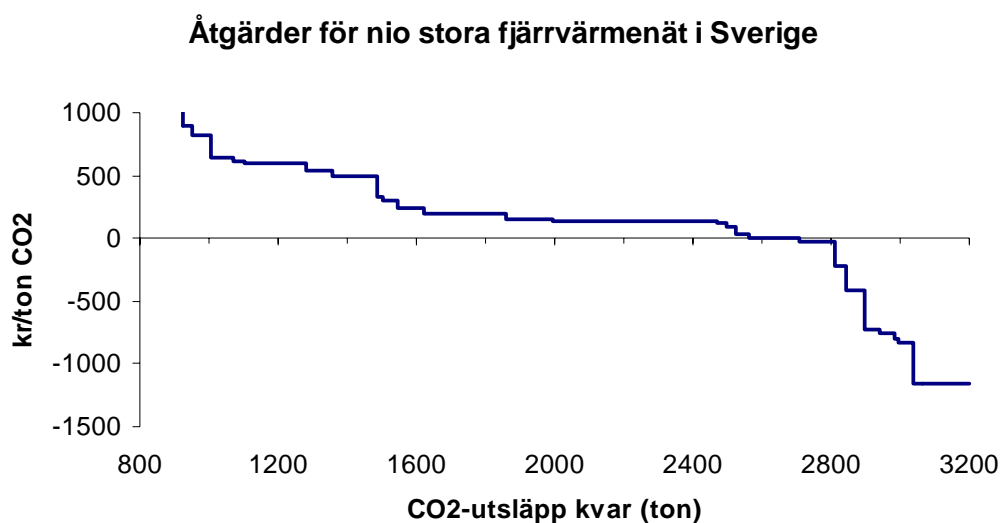
befintliga produktionen (utsläppen) vid de studerade anläggningarna. Det innebär att om ny produktionskapacitet byggs antas samtidigt annan produktion inom anläggningen minska. Värmeproduktionen antas därmed vara konstant och eventuell extra elproduktion som en följd av åtgärden krediteras som en intäkt i åtgärdens kostnadsberäkning men påverkar inte koldioxidutsläppen. Åtgärder som rör kondensdrift är inte inkluderat. Även om inte all produktion täcks in i studien bedöms underlaget ge en god beskrivning av vilka åtgärdsalternativ som finns inom ramen för befintliga energiproducerande anläggningar. Däremot bedöms inte volymen utsläppsreduktioner direkt kunna överföras från den studerade gruppen anläggningar till hela systemet.

I kostnadsberäkningarna har inte skatter eller andra styrmedel inkluderats. En kalkylränta på 4 procent har använts (i studien från IVL användes en kalkylränta på 6 procent som basfall) och den tekniska livslängden antas vara 20 år för alla åtgärder. I studien identifierades 32 åtgärder och den beräknade utsläppsreduktionen uppgick till sammanlagt ungefär två tredjedelar av utsläppen vid de nio studerade fjärrvärmenäten.

Trettio av de trettioåttio utsläppsreducerande åtgärderna har i Figur 46 sorterats efter kostnad, d.v.s. inte enligt den ordning de förväntas genomföras. Att åtgärderna inte kommer att genomföras i den ordning som figuren visar beror på att styrmedel inte inkluderats i beräkningen och åtgärderna tar olika lång tid att genomföra.

Figuren ger en översiktlig bild över åtgärdernas olika kostnad och storlek mätt i ton koldioxid. Åtgärderna (exempelvis ökad användning av biobränslen istället för torv och konvertering från olja till träpellets) leder till en reduktion av cirka två tredjedelar av utsläppen från de analyserade företagen till en åtgärds kostnad under 1 000 kr per ton CO₂. Majoriteten av resterande utsläpp är dyrare att genomföra eftersom det innebär ersättning av avfallsbränsle eller spetslastproduktion som används sällan¹⁴⁶. Av de ”resterande utsläppen” utgör avfall knappt två tredjedelar av utsläppen och den fossilbaserade spetslasten drygt en tredjedel.

¹⁴⁶ Att dessa åtgärder är dyra är en följd av att fjärrvärmeproduktionen skall vara konstant i analysen. Att göra en investering i en anläggning som har en väldigt kort drifttid är kostsamt såvida inte kostnaden fullt ut kan tas ut på priset för kund.



Figur 46 Utsläppsreducerande åtgärders kostnad och omfattning för nio större fjärrvärmenät i Sverige

Ny el- och fjärrvärmeproduktion

Ny kapacitet i el- och värmeproduktion byggs för att möta en ökande efterfrågan, för att ersätta en äldre befintlig produktionsanläggning eller för att ersätta en anläggning som inte är lönsam vid nya ekonomiska förutsättningar.

När en ny anläggning byggs för att möta en långsiktig ökning i efterfrågan på el och värme sker inte direkt någon utsläppsreduktion genom att annan produktion ersätts. Istället kan man säga att utsläpp undviks under förutsättning att den nya anläggningen har relativt sett lägre utsläpp per producerad enhet energi än den anläggning som utgör referensen i analysen. Hur mycket utsläpp som undviks beror på vilken produktion som antas byggas i referensfallet.

I detta avsnitt diskuteras först produktionskostnads kalkyler som indikerar de ekonomiska förutsättningarna för olika typer av anläggningar.

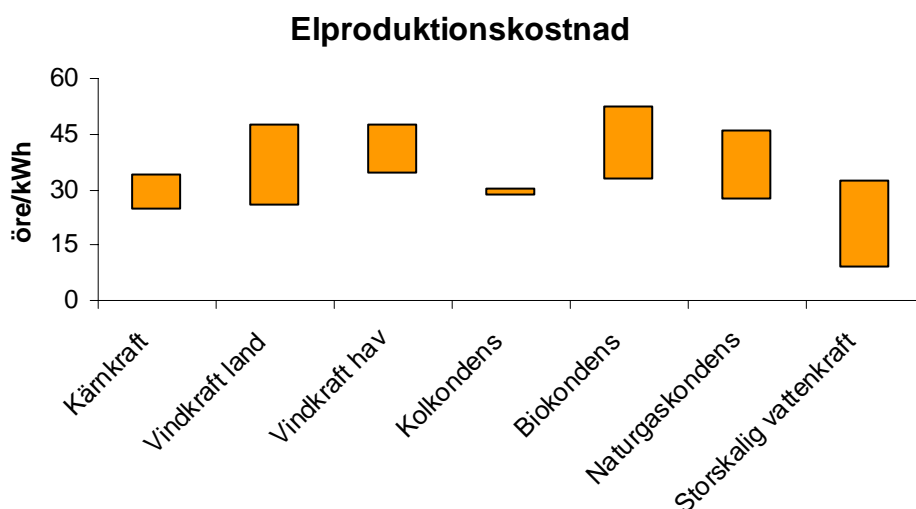
Det är många faktorer som styr beslut vid etablering av ny produktionskapacitet. Kostnadskalkylen påverkas av förväntad kapitalkostnad, vald kalkylränta, avskrivningstid och förväntad intäkt. Ett nytt kraftvärmeverk eller värmepanna behöver dessutom ett värmeunderlag. Valet av anläggning påverkas också av omkringliggande infrastruktur och vart i landet anläggningen planeras.

Produktionskostnad för nya elproduktionsanläggningar

I Figur 47 visas produktionskostnaderna för ett antal nya elanläggningar i ett intervall. Vid en snabb reduktion av kapitalkostnaden och goda förutsättningar i form av låga bränslepriser, kort produktionstid samt goda geografiska förhållanden är alla anläggningar vara lönsamma vid ett elpris som antas i referensprognosen till år 2015. Vid mindre gynnsamma förhållanden är det endast

nyinvestering i storskalig vattenkraft som fortfarande kan förväntas vara konkurrenskraftiga vid ett elpris enligt referensprognosen¹⁴⁷.

I prognosen är det endast vindkraft som byggs ut, undantaget effektiviseringar och effekttökningar i existerande kärnkraft och vattenkraftanläggningar. De siffror som anges i detta avsnitt kan emellertid inte förklara utvecklingen i prognosen då den inkluderar styrmedel medan dessa beräkningar enbart baseras på kostnader för produktion och intäkter från elpriset. Dessutom har en högre kalkylränta använts i referensprognosen. Elpriset är också givet dessa förutsättningar vilket gör att man bör använda den med försiktighet.



Figur 47 Elproduktionskostnad för olika anläggningar utan styrmedel. Kalkylränta fyra procent. Kostnaden för ny kärnkraft är framförallt beroende på investeringstid och kapitalkostnad. Vindläge och kapitalkostnaden är viktiga faktorer för vindkraftkostnaden. Biokondens och naturgaskondens är mer beroende av bränsleprisutvecklingen. Storskalig vattenkraft är beroende av samma faktorer som kärnkraften. Antaganden för beräkningar redovisas i Bilaga 1.

Produktionskostnad för nya värmeanläggningar

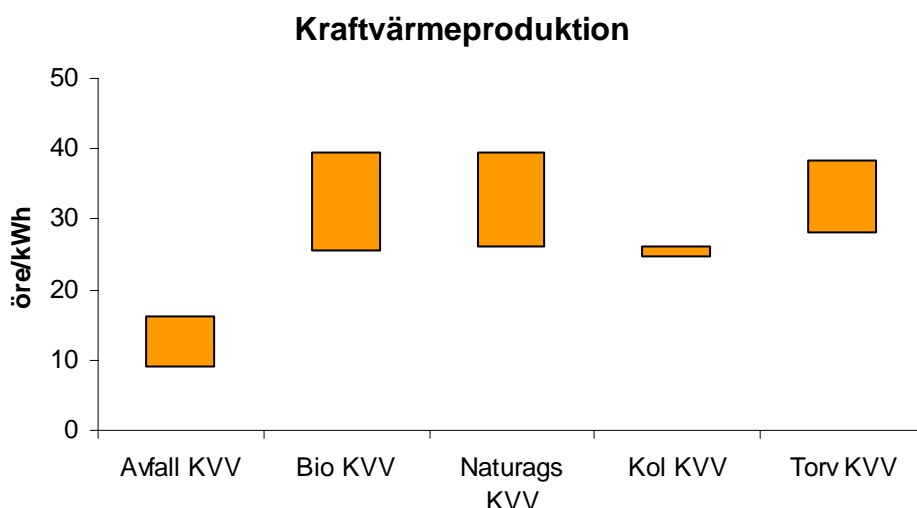
Produktionskostnaden för bioenergi i en hetvattenpanna uppskattas hamna i intervallet 12,7-20,7 öre per kWh (se Bilaga 1 för antaganden). För naturgas och olja är intervallet 14,8-24,8 öre per kWh. Enligt prognos investerar man inte i ny ren värmekapacitet.

Produktionskostnad för nya kraftvärmeanläggningar

I Figur 48 visas produktionskostnaderna för ett antal nya kraftvärmeanläggningar i ett intervall. Vid en snabb reduktion av kapitalkostnaden och goda förutsättning i form av låga bränslepriser, kort produktionstid samt goda geografiska förhållanden är alla anläggningar vara vid ett elpris som antas i referensprognosen till år 2015.

¹⁴⁷ Givet att man inte behöver ta hänsyn till negativa externaliteter vid produktion och drift av ny storskalig vattenkraft.

Avfall i kraftvärmeanläggningar är lönsamt även om förutsättningarna inte är ideala. Av tekniska skäl kan emellertid bara omkring 20 procent av energin omvandlas till elektricitet. Det måste således finnas i jämförelse med de övriga kraftvärmeanläggningarna ett större värmeunderlag.



Figur 48 Produktionskostnad för olika anläggningar utan styrmedel. Kalkylränta fyra procent. Intervallet påverkas framförallt av bränsleprisutvecklingen. Antaganden för beräkningar redovisas i Bilaga 1.

Åtgärdskostnader och reduktionspotential i el- och fjärrvärmeproduktion 2015

Enligt referensprognosen kommer kraftvärmeproduktionen att öka medan hetvattenpannor fasas ut. De bränslen som ökar i kraftvärmeproduktionen är bio-bränslen, avfall, torv och naturgas. Det finns även lite kraftvärme baserat på kol kvar i systemet. Utsläppen kommer således att öka från kraftvärmeproduktion. Åtgärdskostnader och åtgärdsalternativ för avfall hanteras mer utförligt i en separat sektorsrapport inom Kontrollstationsuppdraget. Användningen av energigaser ökar också i referensprognosen. Energigaser hanteras i sektorsrapporten om industri. I denna rapport behandlas således enbart åtgärdskostnaderna för att minska utsläppen från förbränning av torv, kol och naturgas i kraftvärmeproduktion samt kort avfallsförbränning.

Att ersätta torv

I referensprognosen används ungefär 3,5 TWh torv år 2015 för kraft- och värmeproduktion vilket ger upphov till nästan 1,4 miljoner ton CO₂. Detta är ungefär samma användning och utsläpp som för 2005.

Åtgärdskostnaden för att reducera dessa utsläpp är beroende av bränsle, teknik som skall ersätta samt styrmedel. I en existerande anläggning är det sannolikt att biobränsle skulle ersätta torven. Åtgärdskostnaden för denna förändring är beroende av prisrelationen mellan torv och biobränsle. Vid ett högt pris på bio-

bränsle och lågt torvpris är åtgärds-kostnaden 320 kr per ton CO₂¹⁴⁸. Åtgärds-kostnaden blir däremot negativ, -36 kr per ton CO₂, i den omvända situationen då biobränsle är billigt och torv dyrt. Priset styr även åtgärds-kostnaden vid beslut i nyinvesteringar. Att bygga ett bioenergibaserat kraftvärmeverk kan kräva ett koldioxidpris på 163 kr per ton CO₂ eller -140 kr per ton CO₂ beroende på prisrelationen mellan torv och bio¹⁴⁹. Vid en nyinvestering kan andra alternativ bli intressanta också. Om vindkraft och bio i ett värmeverk skall ersätta torven blir åtgärds-kostnaden -439 till 141 kr per ton CO₂.

Att ersätta kol

I referensprognosen används 5,0 TWh kol år 2015 för el- och värmeproduktion vilket ger upphov till 1,6 miljoner ton CO₂. Detta är ungefär det samma som under 2005. Åtgärds-kostnaden för att reducera dessa utsläpp med ett biobränsle-elat kraftvärmeverk är 225-400 kr per ton CO₂¹⁴⁸. Hur hög åtgärds-kostnaden blir är framförallt beroende av priset på biobränsle.

Att ersätta naturgas

I referensprognosen används 11,1 TWh naturgas år 2015 för kraftvärmeproduktion vilket ger upphov till 2,3 miljoner ton CO₂. Detta kan jämföras med 2,7 TWh år 2005 och 0,5 miljoner ton CO₂. Utsläppen har således ökat med 1,8 miljoner ton CO₂ från användningen av naturgas i kraftvärmeverk. Ökningen av användning och utsläpp kommer bland annat från verken som är i drift i Göteborg och beslutade Öresundsverken i Malmö. Kostnaden för att reducera utsläppen från dessa verk är hög då omfattande ombyggnation behövs om ett icke gasformigt bränsle skall användas och att produktionskostnaden av stora mängder gasformiga bränslen, såsom biogas, är hög. Dessutom leder förgasning och metanisering av fasta bränslen upphov till metanläckage vilket gör att miljönyttan av att ersätta naturgas blir mindre. En viss del av gasen skulle kunna ersättas av deponigas och rötgas. Ett tredje alternativ är koldioxidavskiljning och lagring.

Att ersätta avfall i el- och värmeproduktion

I referensprognosen används 18,9 TWh avfall år 2015 för el och värmeproduktion vilket ger upphov till 1,7 miljoner ton CO₂. Detta kan jämföras med 9,5 TWh år 2005 och 0,9 miljoner ton CO₂. Utsläppen har således fördubblats i prognosen. Ur ett klimatperspektiv kan det dock vara att föredra att använda avfallet till energiändamål. För en vidare analys om detta, se separat kapitel om avfall.

Åtgärds-kostnaden för att reducera dessa utsläpp är beroende av bränsle och teknik som skall ersätta. I en existerande anläggning är det sannolikt att biobränsle skulle ersätta avfall. Åtgärds-kostnaden för denna förändring är beroende av prisrelationen mellan avfall och biobränsle. Vid ett högt pris på biobränsle och hög

¹⁴⁸ Beräkning utförd i CORED, Elforsk projekt nr 2325 "Kostnad och potential för åtgärder i Sverige att minska koldioxidutsläppen", 2005

¹⁴⁹ Beräkningar utförda med förutsättningarna i Bilaga 1.

ersättning för avfall är åtgärdskostnaden 2 700 kr per ton CO₂¹⁵⁰. I den omvända situationen då biobränsle är billigt och avfallspriset lågt blir åtgärdskostnaden 1 400 kr per ton CO₂. Två andra alternativ är att minska andelen fossilt avfall som går till förbränning samt koldioxidavskiljning och lagring.

Kostnad för koldioxidavskiljning och lagring

I tidsperspektivet 2020-2025 kan koldioxidavskiljning och lagring vara ett alternativ till att ersätta bränslen eller till att skapa en sänka till utsläppen (d.v.s. att avskiljning och lagring sker från biobränslen eller avfall). Kostnaden för denna åtgärd bedöms vara under 500 kr per ton CO₂ för stora anläggningar. Det är således en åtgärd som skulle kunna användas om utsläppen från avfallsförbränning behöver minskas då åtgärdskostnaden till att byta bränsle troligen överstiger 500 kr per ton CO₂.

Om priset på koldioxid överstiger 300-500 kr per ton CO₂ kan det även bli lönsamt att avskilja koldioxid från storskalig förbränning av biomassa. I prognosen används 38 TWh bioenergi för el- och fjärrvärmeproduktion 2015. Koldioxidutsläppen från denna förbränning är 13 miljoner ton CO₂. Givet att uttaget från skogen inte överstiger tillväxten skulle således en stor sänka kunna skapas. I realiteten kan man inte förvänta sig att alla biobränsle eldade el- och värmeproduktionsanläggningar kommer att använda sig av koldioxidavskiljning och lagring.

Raffinaderier

I raffinaderier pågår kontinuerligt ett arbete med effektivisering vilket gjort de svenska raffinaderierna till bland de energieffektivaste i världen.¹⁵¹ Utsläppen ökar i referensprognosen då produktion och processkomplexiteten förväntas öka. Enligt Bo Jansson¹⁵² finns det fortfarande en effektiviseringspotential på 0,08 miljoner ton CO₂ som kan vara ekonomiskt motiverat att genomföra. Användning av naturgas skulle ytterligare kunna minska utsläppen med 0,14 miljoner ton CO₂. Koldioxidavskiljning och lagring bedöms kunna reducera utsläppen med ytterligare med minst 0,25 miljoner ton CO₂.

Utsläppen från denna delsektor är överlag osäkra. Historiskt har de ekonomiska marginalerna varit små när utnyttjandetiden varit mindre än idag. Dessa situationer har skett i cykler, för stor raffineringsskapacitet har lett till att anläggningar fått tas ur drift vilket har lett till att efterfrågesvängningar inte har kunnat hanteras vilket motiverat ny raffineringsskapacitet. Situation 2015 kan vara sådan att något eller några av de svenska raffinaderierna inte klarar ekonomin eller åtminstone producerar mindre (lägre utnyttjandegrad).

¹⁵⁰ Beräkning utförd i CORED, Elforsk projekt nr 2325 ”Kostnad och potential för åtgärder i Sverige att minska koldioxidutsläppen”, 2005.

¹⁵¹ IVL, (2002)

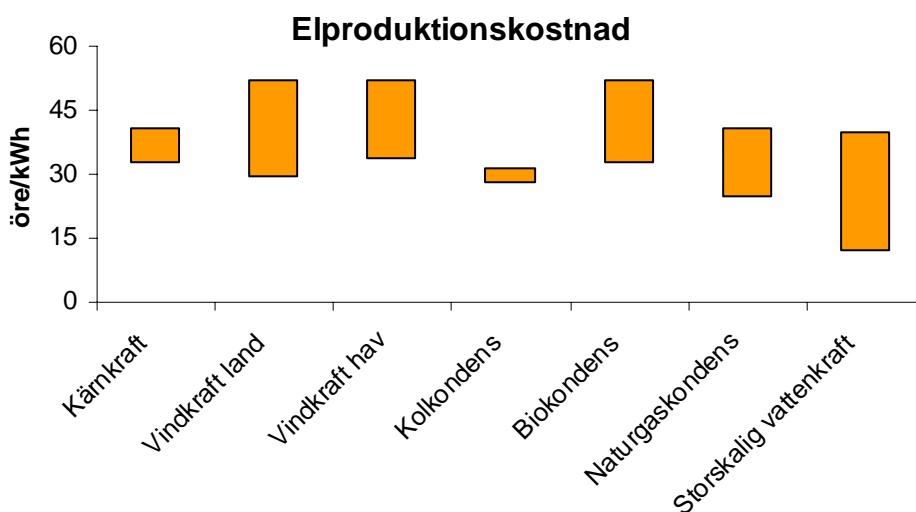
¹⁵² Jansson (2005)

6.4.4 Kostnader och reduktioner ur ett företagsperspektiv

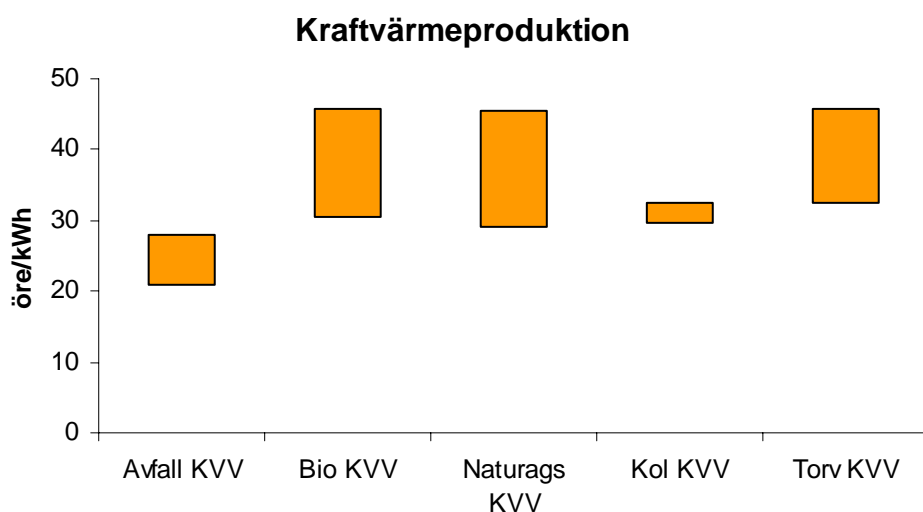
I detta avsnitt redovisas några skillnader om man istället för ett socialt perspektiv antar ett företagsperspektiv. En kalkylränta på 7 procent används istället och avskrivningstiden av investeringen är kortare än den tekniska.

Figur 49 visar elproduktionskostnaden givet dessa förutsättningar. Jämfört med den sociala beräkningen i kapitel 4.3.2 är produktionskostnaden högre i detta fall. Kostnaden för kraftvärmeproduktion visas i Figur 50. Vilket syns i figurerna är det risk att man inte får ekonomin att gå ihop i nästan alla investeringar. Det är bara avfall i kraftvärmeproduktion som enligt beräkningarna klarar att nå under ett elpris av 36 öre per kWh som i referensprognosen. För andra investeringar måste förutsättningarna vara bra för att nå vinst.

Åtgärdskostnaderna för att minska utsläppen från torv, kol och naturgas i kraftvärmeverk är osäkra. Att ersätta torv med biobränsle i befintliga kraftvärmeverk innebär en kostnad av -31 till 325 kr per ton CO₂. Att ersätta torv i nya kraftvärmeverk med vindkraft och biobränsle i värmeverk innebär en åtgärdskostnad mellan -557 och 171 kr per ton CO₂. Att ersätta kol med biobränsle i existerande kraftvärmeverk innebär en kostnad av 256-432 kr per ton CO₂.



Figur 49 Produktionskostnad för elproduktion utan styrmedel. Kalkylränta sju procent. Antaganden för beräkningar redovisas i Bilaga 1.



Figur 50 Produktionskostnad för ny kraftvärmeproduktion utan styrmedel. Kalkylränta sju procent. Antaganden för beräkningar redovisas i Bilaga 1.

6.4.5 Slutsatser

Hur mycket utsläppen av växthusgaser från energisektorn kan reduceras och till vilken kostnad är beroende av flera osäkra faktorer. En stor osäkerhet är hur mycket ny produktion som tillkommer som ger upphov till utsläpp av växthusgaser. Nuvarande styrmedel, såsom elcertifikatsystemet och handel med utsläppsrätter, skapar förutsättningar till en expansion av framförallt mer klimatneutrala alternativ som biokraftvärme och vindkraft. Utgångspunkten för denna analys har varit de utsläpp som uppstår i prognosen.

Kostnaden för många åtgärder är starkt beroende av bränsleprsförhållanden, t.ex. kostnaden för att ersätta torv med biobränslen är framförallt beroende av prisrelationen mellan biobränslen och torv. Investeringskostnaden och konstruktionstiden är en viktig faktor för anläggningar med hög initial kostnad (t.ex. kärnkraft). Styrmedel är en annan viktig faktor då de kan påverka bränsleprsförhållanden och osäkerheter vid investering i ny kapacitet. I denna analys har styrmedelseffekter inte inkluderats.

Tabell 32 visar hur mycket koldioxid som kan reduceras från energisektorn och till vilken kostnad.

Tabell 32 Största reduktionspotential och högsta åtgärdskostnad för att minska koldioxidutsläppen från el- och fjärrvärmeproduktion

	Reduktionspotential <i>Miljoner ton CO₂</i>	Åtgärdskostnad <i>kr per ton CO₂</i>
Torv till bio	< 1,4	-36 – 320
Kol till bio	< 1,6	225 – 400
Avfall till bio	< 1,7	1400 – 2700

Åtgärdskostnaden för att reducera utsläppen från avfall skulle troligen bli betydligt lägre, ungefär en femtedel, om koldioxidavskiljning och lagring kunde användas. En förutsättning för att koldioxidavskiljning skall vara ekonomiskt gångbart är tillgången till stora punktsläpp. Kostnadsuppskattningarna är emellertid behäftade med stor osäkerhet men en åtgärdskostnad kring 300-500 kr per ton koldioxid kan antas för gynnsamma förutsättningar (t.ex. goda lagringsmöjligheter i nära anslutning till kraftanläggningen). För många projekt skulle kostnaden bli högre.

Utöver för avfall bedöms avskiljning och lagring av koldioxid också som ett alternativ att reducera utsläppen från naturgaskraftvärmeproduktion (<2,3 miljoner ton CO₂). Dessutom kan tekniken tillämpas på biobränsleeldade system vilket gör att en koldioxidsänka skapas, givet att uttaget ur skogen inte är större än upptaget.

Sverige har raffinaderier med hög effektivitet och det är svårt att hitta åtgärder för att effektivisera ytterligare. Ett ökat naturgasanvändande skulle kunna reducera utsläppen något. Totalt uppskattas utsläppen kunna reduceras med 0,4 miljoner ton CO₂ till en rimlig kostnad.

7 Avfallssektorn

7.1 Sammanfattning

År 2005 var de totala utsläppen från avfallsdeponier, förbränning av farligt avfall samt avloppsrening ca. 2,2 miljoner ton koldioxidekvivalenter, varav nära 90 procent utgjordes av metan från deponier. Utsläppen från deponier väntas minska mycket kraftigt till följd av deponiförbudet. Samtidigt väntas utsläppen från avfallsförbränning öka, dock har inte effekten av att andra bränslen ersätts inkluderats i dessa utsläppsberäkningar.

Det finns en rad olika möjligheter att minska utsläppen kopplade till avfallssektorn. Dessa är ökad materialåtervinning, minskat läckage från deponering och att ersätta andra bränslen.

Plast och metaller i såväl hushålls- som verksamhetsavfall kan materialåtervinnas i större utsträckning än idag. Återvinningen av metaller kan komma att öka spontant till följd av stigande metallpriser, den möjliga potentialen att reducera utsläpp ligger i storleksordningen 0,3 – 0,5 Mton. Potentialen i att ersätta nyttillverkad plast med återvunnen och därigenom sänka utsläppen ligger i storleksordningen 0,2 – 0,3 Mton koldioxid år 2020. Kostnaderna är mycket situationsspecifika och känsliga för olika antaganden, en ungefärlig uppskattning är att genomsnittskostnaden ligger i intervallet 400 – 2000 kr/ton CO₂.

Läckage av lustgasemissioner från lagring av slam från kommunala reningsverk motsvarar idag koldioxidutsläpp på ca. 330 kton/år. Utsläppen skulle kunna minska avsevärt genom relativt enkla åtgärder till en kostnad på omkring 10-15 kr/ton CO₂ekv.

Att ersätta fossila bränslen med avfallsbränslen kan i många fall medföra intäkter som överstiger merkostnader i hanteringen, bl.a. har en lönsam potential i storleksordningen 0,4 Mton identifierats. Biogas producerad i avfallssektorn kan reducera utsläppen genom att ersätta fossila bränslen i t.ex. transportsektorn.

7.2 Struktur, trender och prognostiserad utveckling

7.2.1 Avgränsningar och indelningar

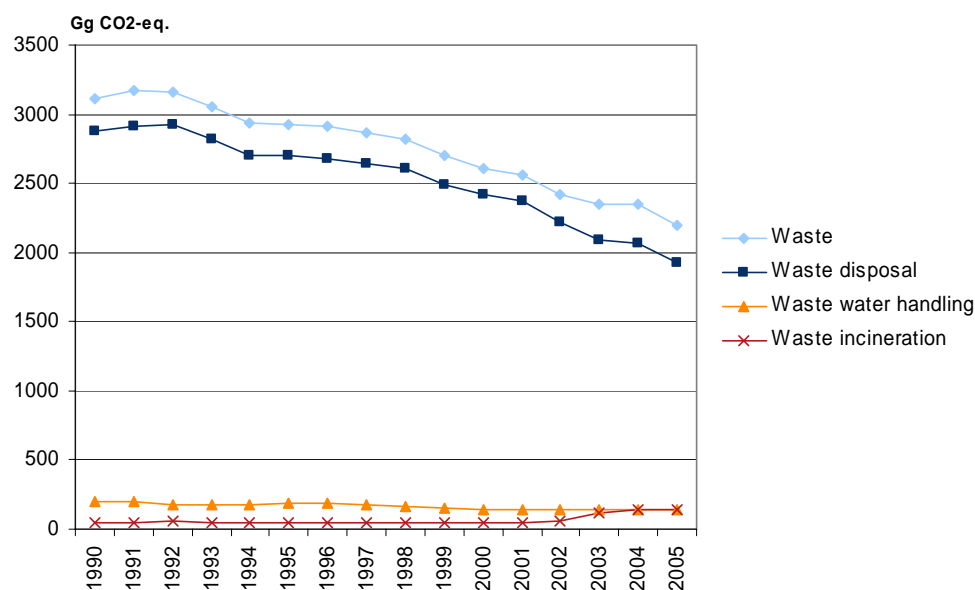
Avfallssektorn omfattar i detta kapitel merparten av insamling, återvinning och deponering av hushållsavfall och sådant verksamhetsavfall som inte utgör branschspecifikt avfall (t.ex. från stål-, gruv-, kemi och skogsnäringen). Här redovisas där det finns underlag både bruttopåverkan, klimatpåverkan av direkta utsläpp från sektorn, och nettopåverkan, klimatpåverkan med hänsyn även till indirekta effekter såsom minskade utsläpp från tillverkning av alternativa nyttigheter.

I den officiella utsläppsrapporteringen (National Inventory Report - NIR) till EU och FN redovisas utsläpp som genereras från avfallshantering på flera olika ställen. Utsläpp från förbränning av hushållsavfall eller liknande redovisas under energisektorn och utsläpp från industrins förbränning av avfall under förbränning inom respektive industribransch. I utsläppsrapporteringen gällande avfall redovisas endast avgång av metan från avfallsdeponier, förbränning av farligt avfall samt avgång av dikväveoxid från avloppsrening under sektorn avfall.

7.2.2 Sektorns utveckling och utsläpp

Utsläppen från avfallsdeponier och utvecklingen av mängden avfall till deponi

År 2005 var de totala utsläppen från avfallsdeponier, förbränning av farligt avfall samt avloppsrening ca. 2,2 miljoner ton koldioxidekvivalenter eller drygt 3 % av de totala utsläppen av växthusgaser. Av dessa utsläpp dominerar metan-utsläppen från avfallsdeponier med ca. 89 % medan dikväveoxidutsläppen från avloppsvatten står för ca. 6 % och koldioxidutsläppen från förbränning av farligt avfall för ca. 6 %.



Figur 51 Utsläpp från avfallssektorn enligt NIR

Utsläppen av metan från avfallsdeponier har minskat successivt sedan 1990-talets början dels som följd av ökad insamling och omhändertagande av metangas från deponier, dels på grund av att mängden organiskt material till deponi har minskat avsevärt. Även ökad och bättre täckning av deponier har medfört minskade metanutsläpp. Utvecklingen förklaras i hög grad av att styrmedel införts på nationell och lokal nivå.

De styrmedel som hade betydelse för denna utveckling under 1990-talet var bl.a. införandet av producentansvar för ett antal olika varugrupper t.ex. förpack-

ningar, returpapper, kontorspapper och däck. Kravet på kommunal avfallsplanering, som infördes 1991, har sannolikt också bidragit till att öka återvinningen och därmed att minska mängden nedbrytbart avfall till deponering.

År 2000 infördes en skatt på avfall som deponeras och den uppgår sedan 2006 till 435 kr/ton. Dessutom har förbud mot deponering av utsorterat brännbart och organiskt material införts 2002 respektive 2005. Förbuden och skatten har gett en betydande effekt. År 2005 hade det deponerade avfallet från hushållen minskat med 74 % jämfört med 2002 och med 85 % jämfört med 1994, se Tabell 33. Även deponering av andra typer av avfall har minskat. Till exempel minskade deponering av avfall från massa- och pappersindustrin från ca. 1,25 Mton 1994 till ca. 0,43 Mton 2004.¹⁵³

Tabell 33 Deponerade mängder (kton/år) vid anläggning med avfallsbehandling som huvudverksamhet, (RVF/Avfall Sverige (1998-2006))

Avfallsslag	1994**	1998	2002	2003	2005
<i>Hushållsavfall och därmed jämförligt avfall</i>	1 380	1 065	825	575	210
<i>Park- och trädgårdsavfall</i>	80	45	38	33	
<i>Bygg- och rivningsavfall</i>	900	740	530	370	
<i>Avfall från energiutvinning</i>	660	710	520	470	390
<i>Avfall från behandling av kommunalt avloppsvatten</i>	610	490	215	155	58
<i>Avfall från behandling av industriellt avloppsvatten</i>	190	210	95	49	
<i>Branschspecifikt industriavfall</i>	490	425	390	275	
<i>Ej branschspecifikt industriavfall</i>	1 060	1 010	970	820	
<i>Specialavfall</i>	90	203	185	187	
<i>Övrigt</i>	620				
<i>Sorteringsrest*</i>					353
<i>Förorenade massor*</i>					245
<i>Övrig slam*</i>					88
<i>Övrigt fast avfall*</i>					591
Totalt	6 080	4 900	3 770	2 935	1 936

* Nya avfallskategorier i Svensk Avfallshantering 2006, ej jämförbara med tidigare kategorier.

** För år 1994 är deponerade mängder exklusive planreaktorer och bioceller.

Utsläppen från avfallsförbränning och utveckling av mängden avfall som förbränns

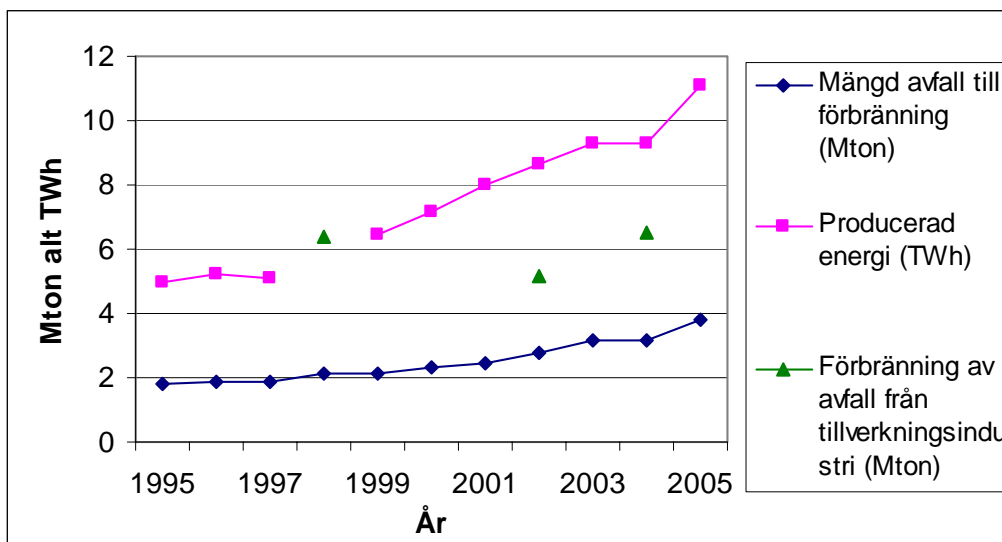
I Sverige utnyttjas nästan all energi vid förbränning av avfall eftersom vi dels har ett omfattande fjärrvärmenät, dels kan nyttja energin inom industrierna för olika ändamål. Mindre mängder värme kyls bort sommartid i fall där avfallet inte lagras.

¹⁵³ www.skogsindustrierna.se

2004 behandlades enligt svensk avfallsstatistik totalt ca. 10,8 Mton icke farligt avfall genom förbränning med energiutvinning. I begreppet avfall omfattas här betydande mängder träavfall från exempelvis sågverk. Av detta fördes ca. 4,3 Mton till branschen el, gas och värme (SNI 40) varav ca. 3,2 Mton till avfallsförbränningsanläggningar. Övriga ca. 6,5 Mton användes i industrisektorer varav ca. 3,6 Mton inom pappers- och massaindustrin. Troligen förbrändes ytterligare ca. 2 Mton träavfall i vanliga värmeverk vilket inte omfattas av denna statistik.¹⁵⁴ 2005 ökade mängden avfall till avfallsförbränningsanläggningar utanför industrin till 3,8 Mton. Sammanlagt producerades detta år 11,1 TWh energi från dessa anläggningar varav 10,2 TWh värme och 0,9 TWh el. 2005 behandlades ca. 50 % av allt hushållsavfall genom avfallsförbränning (RVF/Avfall Sverige (1998-2006)).

Utsläppen av koldioxid från dessa anläggningar beräknades samma år uppgå till ca. 850 kton. Avfallsförbränningen 1990 var av betydligt mindre omfattning och utsläppen beräknades detta år till ca. 450 kton.

I utsläppsstatistiken klassificeras förbränning av avfall inom industrin och i el- och fjärrvärmeanläggningar i hög utsträckning som förbränning av biobränslen. Det är i huvudsak cementindustrin som redovisar utsläpp från avfallsförbränning bland industribranscherna.



Figur 52 Utveckling av förbränd mängd avfall och producerad mängd energi i avfallsförbränningsanläggningar och inom tillverkningsindustrin 1994-2004. Mängd avfall och producerad energi avser förbränning utanför industrin i avfallsförbränningsanläggningar. (RVF/Avfall Sverige, 1998-2006, Naturvårdsverket, 2006)

Det finns flera orsaker till att avfallsförbränningen har ökat relativt kraftigt. De tidigare nämnda styrmedlen deponiskatt och deponeringsförbud minskar deponeringen kraftigt och i motsvarande grad ökar återvinning genom bland annat

¹⁵⁴ Naturvårdsverket (2006), (RVF/Avfall Sverige (1998-2006))

förbränning. Deponering av organiskt och brännbart avfall är idag endast ett marginellt alternativ genom vissa tidsbegränsade dispenser.

En annan viktig orsak är att avfallsenergin har integrerats i fjärrvärmesystemen i högre grad vilket genom ökad fjärrvärmeutbyggnad och ökade fjärrvärmepriser har medfört förbättrad lönsamhet. De ökade intäkterna från både energi och avfallsmottagning medför att avfall i hög grad kan konkurrera med biobränslen i fjärrvärmesystemen.

Ökade avfallsmängder bidrar också till en ökning i avfallsförbränningen. För hushållsavfall, där statistikunderlaget är relativt tillförlitligt, är trenden tydlig att mängderna ökar sett över flera år. För övrigt avfall är underlaget mer osäkert. Att utsläppen av miljöfarliga ämnen från förbränningsanläggningarna har minskat väsentligt har dessutom inneburit ökad acceptans för avfallsförbränning med energiutvinning.

Ytterligare en orsak till ökningen är att importen av avfall har ökat. Ökningen är relativt betydande enligt Tabell 34. Tabellen omfattar inte införsel av icke anmälningspliktigt avfall som till stor del är olika typer av homogena biobränslen som tallolja, träflis och olivkärnor.

Huvuddelen av anmälningspliktigt avfall kommer från Norge medan Nederländerna är näst störst. Detta är en följd av att mottagningsavgifterna i Sverige är avsevärt lägre vilket i sin tur är en följd av vårt höga energiutnyttjande.

Tabell 34 Mängder ton infört anmälningspliktigt avfall för energiåtervinning.
(Naturvårdsverket 2007)

År	Införsel av anmälningspliktigt avfall till energiutvinning*	Införsel av avfall till konventionell avfallsförbränning**	Införsel av hushållsavfall till konventionell avfallsförbränning
1999	196 359		
2000	85 565		
2001	60 608		
2002	433 214	40 000	
2003	406 524	150 000	25 000
2004	608 550	160 000	50 000
2005	Uppgift saknas	213 000	104 000

*Omfattar både förbränning i vanliga värmeverk och konventionella avfallsförbränningsanläggningar. Exempel på avfall är rena eller blandade flöden av trä, papper och plast.

Det som talar för en fortsatt betydande införsel är

- ökade energipriser i Sverige
- deponidirektivets krav på att högst 35 % av mängden biologiskt nedbrytbart kommunalt avfall får deponeras 2016 (några länder har fått förlängt till 2020)
- nationella krav på förbud mot deponering av nedbrytbart avfall (t.ex. Danmark, Sverige, Norge, Tyskland, Österrike och Nederländerna).

Det finns samtidigt faktorer som motverkar ökad införsel. Exempelvis ökade ambitioner inom EU att öka användningen av förnybar energi till 20 % av totala energianvändningen till 2020. EG-förordningen om gränsöverskridande transporter medger sedan något år tillbaka respektive land rätt att stoppa in- eller utförsel av blandat hushållsavfall oavsett energiutnyttjandet, vilket också kan motverka rörligheten hos detta avfall.¹⁵⁵

Utsläppen från materialåtervinning

2006 materialåtervanns ca. 1,47 Mton eller motsvarande ca. 34 %, av hushållsavfallet. Jämfört med 2005 innebar detta en ökning med drygt 6 %. Huvuddelen, ca. 62 %, utgjordes av tidningar, kontorspapper och wellpapp. Metall och glas utgjorde drygt 10 % vardera medan elavfall stod för ca. 7 %. Förpackningar av kartong och plast utgjorde ca. 5 respektive 2 %.

Återvinningsgraden från hushållsavfall är relativt hög (>70 %) för metallförpackningar, papper och glas. Plast återvinns endast till mindre andel som material.

Materialåtervinningen från verksamheter är inte lika väl kartlagd som från hushåll. Tabellen nedan tyder på att papper, glas och plast till återvinning främst härrör från hushåll (inkl. kontor) medan metallerna nästan helt härrör från verksamheter.

Tabell 35 Materialåtervinning i Sverige (Naturvårdsverket, 2005a och Henrysson och Goldmann (2007))

Materials lag	Från hushåll (Mton/år)	Totalt (Mton/år)	Reducerade utsläpp vid materialåtervinning jämfört med tillverkning från jungfrulig råvara* (ton CO ₂ /ton)
Papper	0,92	1,2	1,5
Metaller:	0,16		
Koppar		?	20
Aluminium		0,05-0,10**	10
Fe-metaller		2,0	1-1,5
Glas	0,15	0,19	0,6
Plast	0,03	0,05	1,5

*Enligt sammanställning i Henrysson och Goldmann (2007).

**Med och utan omsmältning samt pantburkar.

Tabellens reduktionsfaktorer bygger på resultat från olika livscykelanalyser där resultaten kan variera avsevärt beroende på avgränsningar och förutsättningar. Störst klimatvinster uppnås genom återvinning av metaller medan vinsten med glas är relativt måttlig.

¹⁵⁵ Naturvårdsverket (2007)

Ett exempel på betydelsen av vilka antaganden som görs är i fallet återvinning av papper. Om förbränning av returpapper antas ersätta biobränslen ger materialåtervinningen lägre klimatpåverkan än förbränning, om förbränningen av returpapper i stället antas ersätta fossila bränslen ger materialåtervinningen större klimatpåverkan än förbränning.¹⁵⁶

Betydande mängder oorganiska avfallsslag såsom schaktmassor används i konstruktioner och anläggningar. Sådan materialåtervinning ersätter oftast andra oorganiska material vilket inte innebär direkt minskad klimatpåverkan. Indirekt kan dock exempelvis minskade transporter och minskat krossningsarbete innebära minskad klimatpåverkan.

Nettoutsläpp avfallssektorn

Det finns flera olika studier kring brutto- och nettoutsläpp av koldioxid från olika delar av avfalls- och återvinningssystemet. Under 2006 kartlades utsläppen från avfallsflöden som hanteras i sydvästra Skåne.¹⁵⁷ Dessa omfattar i stora drag alla de avfallsflöden som avfalls- och återvinningsbranschen hanterar. Undantaget är avfall till materialåtervinning som inte omfattas av studien.

Alternativ värme- och elproduktion antogs i beräkningen av nettoutsläpp ske med fossila bränslen (naturgas) i stället för med avfall vilket indirekt minskar utsläppen väsentligt från avfallsförbränningen. När bruttoutsläppen från systemet beräknas antas istället all alternativ energi produceras med biobränslen. En möjlig ansats att definiera motsvarande brutto- och nettoutsläpp i Sverige från avfallssektorn, förutom tillverkningsindustrins avfall, kan vara att skala upp de utsläpp som beräknades för sydvästra Skåne. Därutöver tillkommer motsvarande utsläpp från materialåtervinning. Enligt Tabell 36 nedan uppgår brutto-utsläppen från avfallssektorn till ca. 2 Mton exklusive materialåtervinning. Nettoutsläppen medför enligt antagandena istället att avfallshanteringen bidrar till reducerade utsläpp med ca. 1,7 Mton/år.

¹⁵⁶ Björklund och Finnveden. 2005

¹⁵⁷ Profu (2006)

Tabell 36 Utsläpp av koldioxid från avfallssektorn i Sverige 2005 (Egen beräkning baserad på Profu (2006))

	Totala mängder (Mton/år) (RVF 2006)	Bruttout- släpp (kg CO₂/kton)	Totala brutto- utsläpp (Mton/år)	Nettout- släpp (kg CO₂/kton)	Totala nettout släpp (Mton/år)
Insamling		0,027		0,027	
Rötning		0,00040		-0,0071	
Förbränning		0,24		-0,32	
Kompos- tering		0,00010		-0,00070	
Deponering		0,077		0,064	
Totalt	5,5***	0,345	1,9	-0,237	-1,3
Material- återvinning	1,47**			-0,275*	-0,40
Summa	Ca 7				-1,7

*Genomsnittsvärde för materialåtervinning i Tyskland (UBA-FB III 2005).

**Exklusive verksamhetsavfall.

***Mängder 2005:

Hushållsavfall exkl. materialåtervinning = 4,35-1,47 (mtrl-åv) = 2,88

Verksamhetsavfall (exkl. tillverkningsindustri och viss andel byggrivningsavfall) = 1,64 (förbränning) + 0,94 (dep: sorteringsrester + övrigt fast avfall) = 2,58

Totalt = 2,88+2,58=5,46 Mton 2005

7.2.3 Prognoser över avfallssektorns utsläpp

Enligt den nya prognos som tagits fram för utsläppen från avfallsdeponier inom ramen för kontrollstationsarbetet kommer de införda deponiförbuden fullt ut ha genomförts inom några år. Genomförandet av förbuden är den främsta orsaken till att utsläppen av metan från avfallsdeponier bedöms komma att minska kraftigt under den kommande 15-årsperioden till en nivå 2020 på drygt 80 % under 1990 års nivå. I Tabell 37 nedan redovisas även utsläpp från förbränning av farligt avfall och från reningsverk - dessa utsläpp bedöms öka svagt.

Tabell 37 Prognos över utsläpp från avfallssektorn, avgränsad enligt NIR

Kton koldioxid- ekvivalenter	1990	2000	2005	2010	2015	2020
Utsläpp från reningsverk och förbränning av farligt avfall	140	190	280	290	300	300
Utsläpp från avfalls- deponier	2970	2450	1930	1240	800	520

Samtidigt bedöms avfallsförbränningen i särskilda avfallsförbränningsanläggningar komma att kunna öka upp till ca. 19 TWh 2020, motsvarande ca. 6,5 Mton förbränd mängd avfall. Detta är en ökning med ca. 9 TWh jämfört med dagens nivåer. Om materialåtervinning och biologisk behandling ökar mer än vad som antagits begränsas ökningen av avfallsförbränningen.

Drivkrafter för en ökad förbränning är exempelvis högre energipriser, högre mottagningsavgifter, ökade avfallsmängder och ökad import. Det är också möjligt att ta emot avsevärt mer avfallsbränslen i fjärrvärmesystemet.

Avfallsförbränningen innebär att samtidigt som metanutsläpp från deponier minskar så undviks delvis ett högre utsläpp från värmeproduktion jämfört med om fjärrvärmen skulle produceras med ett helt fossilt bränsle. Om avfallsförbränningen istället skulle antas komma att ersätta en ökad bibränsleanvändning innebär utbyggnaden istället högre utsläpp i fjärrvärmesektorn på grund av att avfallet innehåller viss andel fossilt material som plast.

Tabell 38 Prognos över utsläpp (kton koldioxidkvivalenter) från avfallssektorn, all avfallsförbränning förutom avfall från tillverkningsindustrin

	1990	2004	2010	2015	2020
Utsläpp från avfallsförbränning	450	700	1250	1650	1800

Biogasproduktionen antas också öka i kontrollstationsprognosen som en följd av styrmedlen på området. I prognosen antas att biogasproduktionen kan fördubblas mellan 2005 och 2020.

Materialåtervinning kommer för flera materialslag sannolikt att fortsätta öka i takt med effektivare återvinningsmetoder och mer etablerade återvinningsmarknader. Det saknas dock prognoser över hur stora ökningarna kan bli för olika materialslag som metall, papper och plast. Underlaget att bedöma materialåtervinning från verksamheter är betydligt sämre än motsvarande för hushållsavfall. De återvinningsmål som finns för olika typer av producentansvar, främst förpackningar, medför förhållandevis måttliga ökning totalt sett.

7.3 Åtgärds möjligheter och åtgärds kostnader

Avfallssektorn har som tidigare nämnts omfattats av ett flertal styrmedelsförändringar under de senaste 10-15 åren. I Sveriges Avfallsplan framhålls därför betydelsen av att fokusera på att följa upp och utvärdera effekten av redan beslutade styrmedel.¹⁵⁸ En utgångspunkt för val av lämpliga styrmedel är i detta sammanhang därför att utveckla befintliga styrmedel framför att föreslå nya.

Nedan följer en översiktlig analys av områden inom avfallssektorn där framtida åtgärder bedöms kunna få effekt till rimliga kostnader. Analysen gör inte anspråk på att vara heltäckande varför det kan finnas effektiva åtgärder utöver de som tas upp nedan. En rad åtgärder som redan har genomförts eller är beslutade tas inte upp i detta sammanhang. Exempelvis utvärderas mål och åtgärder för ökad materialåtervinning från hushåll närmare i andra sammanhang.

¹⁵⁸ Naturvårdsverket (2005b)

7.3.1 Minskade avfallsmängder genom förebyggande åtgärder

För många avfallsslag är sannolikt klimatpåverkan av störst betydelse under själva tillverkningen och användningen av respektive vara som sedan blir till avfall. Av en EU-studie framgår att omkring 25 % av koldioxidutsläppen kommer från tillverkning av varor vilket kan jämföras med direkta utsläpp från avfallshanteringen på ca. 2,6 %.¹⁵⁹ Ett annat exempel är att ett svinn på 10 % eller 1 Mton avfall i svenska livsmedelssektorn motsvarar koldioxidutsläpp på ca. 0,5 Mton. Till detta kommer andra utsläpp som näringsämnen, metan och lustgas från jordbruket (Goldstein 2006).

Kan därför produktion och användning göras mer energi- och resurseffektiv minskar både avfallsmängder och klimatpåverkan. Samtidigt behöver inte avfallsmängderna i sig utgöra ett miljöproblem om hanteringen är resurs- och miljöanpassad. Avfall kan snarast ses som ett symptom på ineffektiv tillverkning och användning av varor.

I Sveriges Avfallsplan nämns frivilliga åtgärder som miljömärkning, miljöanpassad upphandling, miljöledningssystem, information och livscykelanalyser som styrmedel för att minska mängder och klimatpåverkan för vissa materialflöden. Exempelvis kan den offentliga sektorn ställa miljökrav vid upphandlingar av varor och tjänster.

Generella regler är svårare att införa på nationell nivå eftersom produktregler i hög grad styrs internationellt. Exempel på nationella regler är miljöbalkens hänsynsregler, regler om producentansvar och lagen om skatt på avfall som deponeras. Det är ännu oklart i vilken utsträckning dessa styrmedel har påverkat avfallsmängderna.

Genom systemet för handel med utsläppsrätter uppstår en kostnad på utsläpp av koldioxid. Om denna kostnad successivt ökar ges incitament till energi- och resurshushållning för särskilt koldioxidintensiv produktion av varor och material.

7.3.2 Öka andelen avfallsenergi som ersätter fossila bränslen

Avfallsbränslen kan ersätta kol i cementindustrin

I cementindustrin finns goda möjligheter att ersätta betydande mängder kol med avfallsbränslen. Cementindustrin i Sverige släppte ut motsvarande ca. 2 Mton CO₂-ekvivalenter 2005, varav bränslen stod för ca. 40 % och ingående kalksten för ca. 60 %. Det finns tre anläggningar i Sverige vilka totalt använder ca. 25 % avfallsbränslen av fossilt ursprung, 5 % avfallsbränslen av förnybart ursprung samt 70 % kol som bränsle. 2006 användes drygt 120 kton alternativbränslen såsom gummiavfall, plastavfall, träavfall samt kött- och benmjöl. Begränsande

¹⁵⁹ Galatola (2007)

för avfallsinblandningen är bland annat torrsubstanshalt, energiinnehåll och klor-alkalihalten.

Cementa, som äger alla anläggningar bedömer det vara rimligt att öka andelen alternativbränslen från 30 till 60 % till ca. 2012.¹⁶⁰ Cementa på Slite gör prognosen att andelen där kommer att vara ca. 60 % 2010. Den förnybara andelen av alternativbränslen kan tänkas öka från 5 till intervallet 9-18 % av den totala bränslemängden. Detta skulle minska utsläppen med ca. 70-140 kton CO₂/år. Skulle det vara möjligt att på längre sikt ersätta upp till hälften av kolet med förnybara avfallsbränslen minskar utsläppen med ca. 400 kton CO₂/år (50 % av 40 % av 2 Mton).

Lönsamheten är en viktig faktor för den konkurrensutsatta cementindustrin som från början är anpassad till hantering av kol och fossila bränslen. Inköp av bio-bränslen inte aktuellt för att ersätta kol av främst ekonomiska skäl. Avfallsbränslen däremot kan i många fall medföra intäkter som överstiger merkostnader i hanteringen av dessa bränslen. Men detta kräver bland annat förändrad infrastruktur och nya miljötillstånd. En svårighet att öka just andelen förnybara avfallsbränslen är ofta att dessa är mindre lönsamma än fossila alternativbränslen som plast och gummi.

Avfallsbränslen kräver investeringar i lagring, förbehandling och förbränningsanläggningar. Att justera processerna och garantera en säker användning av avfallsbränslen kräver också resurser. Därutöver tar det tid att hitta rätt bränslen och skriva kontrakt med leverantörer. Ansökan och beslut om användning och hantering, d.v.s. anmälan eller tillstånd för verksamheten, är en central fråga. Eftersom den största anläggningen och därmed den största potentialen finns på Gotland måste även transportkostnaderna vara rimliga.

Med tanke på de stora mängder avfallsbränslen och den kapacitetsbrist som råder inom EU borde det under perioden fram till 2020 inte råda brist på lämpliga avfallsbränslen. För att inte alltför stora avfallsmängder ska tas upp i planerna för ny avfallsförbränningskapacitet är det viktigt att både nationellt och regionalt ta hänsyn till de mängder som bör kunna användas i cementindustrin. Dessa mängder, ca. 240 kton när andelen uppgår till 60 %, är mycket små i förhållande till totala mängderna till avfallsförbränning vilka är ca. 6 Mton år 2015.

Avloppsslam skulle kunna vara lämpliga att tillföra cementugnarna för att ersätta kol. Fosforhalten är dock begränsande för inblandningen då detta påverkar hållfastheten. I nuläget används de ca. 1 Mton kommunalt avloppsslam som uppkommer varje år i huvudsak för deponitäckning och anläggningsändamål. Samtidigt mellanlagras betydande mängder i avvaktan på exempelvis deponitäckning.. (Lundeberg, 2006a)

¹⁶⁰ Personliga meddelanden Kerstin Nyberg och Anders Lyberg, Cementa.

Att använda slammet som bränsle i cementugnar tillämpas redan bl.a. på Gotland men även i Danmark och Tyskland. Användning i cementugnar skulle kunna vara lämpligare än t.ex. deponitäckning för vissa avloppsslam. Det finns samtidigt ett delmål gällande återvinning av 60 % fosfor ur avlopp till produktiv mark senast 2015 som inte bör motverkas. Den del av slammet som är av så pass låg kvalitet att det inte bör användas på produktiv mark skulle dock kunna användas i cementugnar utan att målet motverkas.

Biogas kan ersätta fossila drivmedel

2005 utvanns biogas i Sverige motsvarande ca. 1 285 GWh. Ca. 560 GWh utvanns vid 139 kommunala avloppsreningsverk, ca. 460 GWh vid ett 70-tal deponier, ca. 160 GWh från 13 samrötningsanläggningar, ca. 95 GWh från 4 industrier och ca. 12 GWh från gårdsanläggningar.¹⁶¹

Dryga 12 % av energin användes som drivmedel till fordon. Över hälften användes för uppvärmning internt eller externt. Endast ca. 3 % går till elproduktion och ca. 2 % till naturgasnätet. Eftersom flertalet avloppsreningsverk och äldre deponianläggningar ligger i anslutning till tätorter och fjärrvärmenät ersätter gasen i dessa fall sannolikt i hög grad biobränslen på kort sikt. Samrötningsanläggningarna använder gasen i princip helt till fordon.

Ett antagande kan vara att upp till ca. 70 % av energin på sikt kan användas som drivmedel direkt eller efter anslutning till naturgasnät. Ytterligare ca. 58 % av totala mängden biogas skulle då kunna ersätta bensin och diesel som drivmedel. Under dessa förutsättningar skulle biogasen kunna minska klimatpåverkan med ca. 185 000 ton CO₂-ekvivalenter/år.

Kalkyler från några ansökningar om Klimp-bidrag 2006 tyder på att uppgradering av biogasen till naturgaskvalitet samt uppförande av tankstation för biogas motsvarar en åtgärds kostnad på drygt 0,2 kr/kg CO₂.¹⁶²

Ökad biogasproduktion ur organiskt avfall

Det pågår en utveckling mot ökad och effektivare biogasproduktion ur matavfall, livsmedelsavfall, gödsel, avloppsslam och grödor. En utvärdering antyder att den långsiktiga totala biogaspotentialen inklusive grödor¹⁶³ motsvarar minskad klimatpåverkan med ca. 1,5 Mton CO₂-ekvivalenter per år (Naturvårdsverket 2005c). Detta kan jämföras med att nuvarande ca. 1 285 GWh som mest kan minska klimatpåverkan med ca. 0,32 Mton CO₂/år. Enligt kontrollstationsprognosen¹⁶⁴ kan dock nuvarande biogasproduktion komma att fördubblas vilket innebär en potential att minska klimatpåverkan med ca. 0,6 Mton, en ökning med ca. 300 kton CO₂/år.

¹⁶¹ Energimyndigheten (2007)

¹⁶² Ulricehamn och Snåresta 2006

¹⁶³ Räknas inte till avfallssektorn.

¹⁶⁴ Viss användning av biogas saknas dock i energistatistiken.

Miljömässiga och ekonomiska drivkrafter gör att allt större andel biogas används för drivmedel och ersätter därigenom fossila bränslen. Denna utveckling stöds centralt genom skattebefrielse för biogasen som drivmedel, statliga bidrag vid investeringar i rötningsanläggningar och tankstationer samt skattenedsättningar för gasdrivna tjänstefordon.

Ökad biogasproduktion ur matavfall i stället för kompostering

Enligt Svensk avfallshantering 2006 komposterades ca. 300 kton hushållsavfall 2005 varav ca. 70 kton hemkomposterades. Samtidigt rötades knappt 30 kton matavfall från hushåll. Enligt miljömålsuppföljningen är mängden matavfall ca. 1 150 kton/år varför målet om att 35 % av det matavfallet ska behandlas biologiskt till 2010 skulle motsvara ca. 400 kton.¹⁶⁵

Med antagandet att delmålet är realistiskt och att ca. 80 % är möjligt att rötas uppgår då potentiell ökning till ca. 200 kton/år. Det är troligt att större delen av de ca. 265 kton livsmedelsindustriavfall som behandlas biologiskt redan behandlas genom rötning.

Totalt uppgår då potentialen till minst ca. 200 kton matavfall per år vilket skulle minska koldioxidutsläppen motsvarande ca. 50 kton/år. Dessutom minskar växthusutsläppen från kompostering, vilka ofta kan vara betydande (se avsnitt om utsläpp från kompostering).

Merkostnaden för rötning i stället för sluten kompostering kan uppgå till ca. 200 kr/ton.¹⁶⁶ Detta motsvarar en åtgärds kostnad på ca. 0,80 kr/kg CO₂.

Potential för ökad biogasutvinning ur avfall från livsmedelsindustrin

I livsmedelsindustrin uppkommer ytterligare ca. 600 kton organiskt avfall förutom vasslemängden på ca. 1 200 kton/år¹⁶⁵). Hittills har detta sannolikt främst använts som djurfoder eller gödselmedel. Betydande delar av det som används för gödsling skulle kunna passera biogasutvinning med ökad gödselverkan och minskad lukt som följd. Det saknas dock underlag att närmare bedöma hur stor mängd av detta som kan rötas före gödsling i stället.

Ökad andel kraft-värmeproduktion vid avfallsförbränning

Tidigare har ofta bara värme utvunnits vid avfallsförbränning. Därför finns stor potential att i högre grad utvinna både el och värme samtidigt vilket minskar klimatpåverkan. BRAS-utredningen¹⁶⁷ menade att skatten på förbränning av avfall skulle kunna leda till utsläppsreduktioner inom det nordiska elsystemet, genom att skattedifferentieringen bedömdes leda till ökad kraftvärmeproduktion i stället för hetvattenproduktion. Detta incitament bedöms kvarstå trots att skatten fått en annan utformning jämfört med vad utredningen föreslog. Utsläppsminskningar i det nordiska elsystemet påverkar dock inte självklart Sveriges

¹⁶⁵ (Linné, 2007)

¹⁶⁶ Personligt meddelande, Per-Erik Persson VafabMiljö, 2007

¹⁶⁷ SOU 2005:23

nationella utsläpp eftersom den elproduktion som ersätts kan befinna sig utanför landets gränser.

Beräkningen i BRAS-utredningen baseras på att en kapacitetsstudie från 2004 som visade att planer för kapacitet att förbränna ca. 1 Mton avfall ännu inte var beslutade. Om 1 Mton avfall eldas i kraftvärmepannor (25 % el) i stället för hetvattenpannor fås 0,75 TWh el som i sin tur motsvarar 0,75 Mton minskade CO₂-utsläpp om alternativet antas vara kolkondens. Den undanträngda värmen kan täckas av ny biobränsleeldad kraftvärme vilket ger ytterligare ca. 0,35 TWh el motsvarande 0,35 Mton CO₂. Sammantaget finns med dessa förutsättningar möjlighet att minska utsläppen med ca. 1,1 Mton CO₂.¹⁶⁸

BRAS-utredningens beräkningar av utsläppsreduktioner som en följd av kraftvärmeutbyggnad är dock förenade med stora osäkerheter. Den uppskattning man gör - nämligen att den ökade elproduktionen skulle leda till utsläppsminskningar motsvarande 1 Mton/år - är att se som ett "best case" där den el som ersätts är kolkondens och frigjord värmelast används för biomassekraftvärme. Med andra antaganden om vilken el som ersätts och vilket bränsle som används för den frigjorda värmelasten kan utsläppseffekten krympa till 0,2-0,4 Mton/år. I beräkningen ingår dock inte avfall från tillverkningsindustrin som hanteras på industrins egna anläggningar.

Att byta befintliga hetvattenpannor mot nya kraftvärmeanläggningar medför dock betydande investeringar. Investeringarna kan vara upp mot ca. 40 % högre än för nya hetvattenpannor. Den totala verkningsgraden är något lägre för avfallseldade kraftvärmeverk, ca. 90 mot 95 % för hetvattenpannor. Det tar även många år att genomföra projektering, tillstånd, byggnation och idrifttagande.¹⁶⁹

7.3.3 Ökad materialåtervinning

Hushållsavfall

År 2006 materialåtervanns ca. 1,47 Mton eller motsvarande ca. 34 %, av hushållsavfallet. En ökning av materialåtervinningen på sikt utgör en ytterligare potential för minskade koldioxidutsläpp. Idag finns ett delmål om att öka materialåtervinning och biologisk behandling till minst 50 % 2010. 2005 uppgick andelen till ca. 44 %.

Andelen till materialåtervinning och biologisk behandling skulle kunna öka till ca. 60 % framåt 2015. Ökad materialåtervinning skulle kunna stå för omkring hälften av denna ökning, d.v.s. ca. 8 % av omkring 5 Mton (årlig ökning i mängder på 2-3 %). Detta skulle då motsvara minskade koldioxidutsläpp omkring 120 kton med antagande att koldioxidminskningen av materialåtervinning motsvarar det tyska genomsnittet på ca. 0,3 ton CO₂/kg materialåtervinning, vilket motsvarar ca. 400 kton/år (årlig ökning i mängder på 2-3 %).

¹⁶⁸ (SOU 2005:23 sid. 342 samt bilaga 5)

¹⁶⁹ (SOU 2005:23 bilaga 5)

Detta skulle då motsvara minskade koldioxidutsläpp om ca. 120-400 kton. Den lägre nivån utgår från antagandet att koldioxidminskningen på grund av materialåtervinning från hushåll motsvarar det tyska genomsnittet på ca. 0,3 ton CO₂/ton material (UBA-FB III, 2005). Den högre nivån utgår från att större delen av materialslagen utgörs av papper (67 % inkl. kartong), metall (10 %) och plast (2 %) vilka har reduktionsfaktorer upp till 1,5 ton CO₂ per ton återvunnet material (Återvinningsindustrierna 2007). Med hänsyn till utsläpp från insamling, eventuella förluster på grund av kvalitetsskäl och att glas drar ner genomsnittet, så bedöms en övre nivå vara omkring 1 ton CO₂ per ton material till återvinning.

Verksamhetsavfall

Det kan finnas viss mängd plast och metall i det verksamhetsavfall som förbränns. I nuläget saknas tillförlitligt underlag för att bedöma mängderna närmare. Enstaka plockanalyser tyder på ett plastinnehåll omkring 5-15 % och ett metallinnehåll runt 5 %.¹⁷⁰

Till skillnad från plast så sorteras dock metall ut från det blandade avfallet i allt högre grad, bland annat som en följd av ökade metallpriser. Dessutom sorteras en stor del av metallerna till förbränning ut från den aska som återstår. Tyska antaganden tyder på utsortering av 50-70 % av Fe-metaller och ca. 10-50 % av icke Fe-metaller.

Mängderna verksamhetsavfall till förbränning uppgick till ca. 1.6 Mton 2005. Dessa mängder väntas öka till över 2 Mton 2009 och möjligen upp till ca. 3 Mton 2015-2020.¹⁷⁰ I potentialbedömningen nedan antas därför att minst 2 Mton förbränns.

Utifrån plockanalyserna ovan bedöms andelen plast i detta avfall vara ca. 5 % och andelen metall ca. 2,5 % i det blandade avfallet. Utifrån att drygt 50 % av den plast som sorteras ut av hushållen kan materialåtervinnas, antas att även omkring hälften av plasten, d.v.s. ca. 2,5 % kan återvinnas ur verksamhetsavfallet.

Sammantaget skulle koldioxidutsläppen kunna minska med ca. 70-140 kton/år om materialåtervunnen plast och metall ersätter jungfrulig råvara. Om materialet som undandras förbränning dessutom ersätts av biobränslen kan utsläppen minska med totalt ca. 210-290 kton CO₂. Om det återvunna avfallet antas bli ersatt med fossila bränslen ger denna post dock ingen minskning av utsläppen.

En osäkerhet är att vinsten av metallåtervinning minskas med omkring 50 % eftersom kanske hälften av metallerna ändå sorteras ut från bottenaskan idag. Med dagens höga metallpriser finns tendenser att även att mer värdefulla metaller som Cu och Al sorteras ut i högre grad före förbränning.

¹⁷⁰ Lundeberg (2006b)

Tabell 39 Minskade CO₂-utsläpp vid återvinning av plast och metall från verksamhetsavfall

	Mängder i ton/år	Minskade utsläpp CO₂-ekv. i ton/år	Förutsättning (SOU 2005:23)
Minskade utsläpp vid förbränning av verksamhetsavfall	2 000 000	143 000 (50 000 x 2,86)	Genom minskad plastförbränning (2,86 ton CO ₂ per ton plast)
Minskade utsläpp genom användning av återvunnen plast	50 000 (2,5 %)	70 000 (50 000 x 1,4)	Återvunnen plast medför 1,4 ggr lägre CO ₂ -utsläpp jämfört med jungfrulig råvara
Minskade utsläpp genom användning av återvunnen metall	50 000 (2,5 %)	75 000 (50 000 x 1,5)	Fe- återvinning, sparar 1,5 ggr CO ₂ /ton metall

Merkostnaden att centralt sortera ut dessa mängder plast och metall ur 2 Mton verksamhetsavfall bedöms uppgå till omkring 100-200 kr/ton eller motsvarande upp till ca. 1-2 kr/kg CO₂. Om detta avfall i förbränningen ersätts av biobränslen minskar kostnaden till ca. 0,4-0,8 kr/kg. Här antas att det räcker med relativt enkla överbandsmagneter och vindsiktat utöver befintlig malning och siktning vid central sortering. Ska sortering etableras enbart för denna återvinning stiger kostnaden betydligt.

Summering - metaller

Enligt Henrysson och Goldmann¹⁷¹ finns det stora möjligheter att minska klimatpåverkan genom ökad återvinning av metaller. Rapporten redovisar dock inte vilka konkreta åtgärder som krävs eller vad denna ökade återvinning skulle kosta. De tre materialflöden som har störst potential på kort sikt är enligt rapporten stål, koppar och aluminium.

Skulle återvinningen av stål öka med 5-10 % motsvarar detta minskad klimatpåverkan med 130-260 kton koldioxid. Samma ökning för aluminium motsvarar ca. 50-100 kton minskning av koldioxidutsläppen. För koppar saknas samlad statistik men skulle en procent av mängden nedgrävd kopparkabel (ca. 620 kton) kunna återvinnas motsvarar detta minskade koldioxidutsläpp på ca. 120 kton. Totalt uppgår potentialen för ökad återvinning enligt dessa antaganden till ca. 300- 480 kton koldioxid. Möjliga åtgärder och kostnader för dessa har inte analyserats i denna studie.

Summering - papper

Ökad pappersåtervinning anges ha stor potential enligt flera studier. Exempelvis motsvarar en ökning med 10-15 % av all pappersåtervinning minskade utsläpp med ca. 100 kton koldioxid. Detta förutsätter dock att papper som avfallsbränsle ersätter biobränslen. Skulle avfallsbränslen ersätta fossila bränslen ökar återvinning av papper klimatpåverkan jämfört med förbränning.

¹⁷¹ Henrysson och Goldmann (2007)

Summering - plast

Potentialen för ökad återvinning av plast är svårare att bedöma på grund av bristfällig statistik. I Italien, Spanien och Tyskland återvinns dock ca. 15 % av allt plastavfall mekaniskt. Om motsvarande kan uppnås i Sverige skulle återvinningen kunna öka från ca. 50 till ca. 90 kton, vilket motsvarar minskade utsläpp av koldioxid på ca. 60 kton. Vissa delar av potentialen från verksamhetsavfall torde dock inte ingå i denna summa, jämför ovan. Hur stor del av summan som är från verksamhetsavfall är dock oklart. Resultat tyder dock på att återvinning av plast är förhållandevis kostsamt jämfört med återvinning av andra material.

Utöver de minskade utsläppen vid plastproduktion kan undandragande och plast från förbränning, som ovan redovisats, bidra med betydande minskningar av utsläppen, förutsatt att denna del av energitillförseln ersätts med förnybara bränslen.

7.3.4 Minimera utsläpp från lagring och behandling av organiskt avfall

Följande utsläpp omfattas inte av utsläppsstatistiken, bland annat på grund av bristande underlag. Med tanke på att ökade mängder organiskt avfall lagras och behandlas ökar dock betydelsen av eventuella utsläpp. Det finns även forskning som tyder på att klimatpåverkande utsläpp kan vara betydande från denna hantering.

Utsläpp från lagring av avloppsslam

För närvarande lagras stora delar av de ca. 1 Mton slam som uppkommer vid kommunala reningsverk. Studier tyder på att metanutsläppen är ytterst marginella.¹⁷² Däremot finns resultat som visar på betydande lustgasutsläpp. Med antagandet att motsvarande allt slam i Sverige lagras under ett år i genomsnitt, uppgår lustgasutsläppen till ca. 1 100 ton/år.¹⁷² Detta omfattas dock inte av utsläppsrapporteringen NIR.

Detta skulle motsvara koldioxidutsläpp på ca. 330 kton/år. Utsläppen skulle kunna minska avsevärt genom relativt enkla åtgärder som innebär att pH-värdet höjs. En möjlighet är inblandning av buffrande material som jord, kompost eller kalk. Sådana åtgärder, som även kan vara en naturlig del vid jordtillverkning, bedöms innebära hanteringskostnader omkring 10-15 kr/ton vilket motsvarar åtgärds-kostnader omkring 0,03-0,05 kr/kg CO₂.¹⁷³

Utsläpp från kompostering av lättnedbrytbart organiskt avfall

Klimatpåverkande utsläpp från kompostering är svåra att bedöma generellt då jämförbara kvantitativa studier saknas i hög grad. Forskning vid SLU tyder på att metanutsläpp kan vara betydande vid lägre temperaturer (ca. 40°C) men obetydliga vid höga temperaturer (ca. 65°C). Resultat från Österrike och Tysk-

¹⁷² Flodman, (2002)

¹⁷³ Personligt meddelande, Per-Erik Persson VafabMiljö, 2007

land indikerar att ca. 0,8-2,5 % av omsatt kol blir metan vid både slutet och öppen kompostering av organiskt avfall. För hemkompostering var motsvarande resultat ca. 2-3,5 %. Utsläppen av lustgas kan variera mellan ca. 50-400 g N₂O/ton TS kompost. Vidare tyder resultaten på att biofilter minskar metan-utsläpp med endast ca. 15 % samtidigt som ca. 30 % av ammoniumkvävet riskerar att övergå till lustgas.¹⁷⁴

Åtgärder som lyfts fram är därför att hålla höga temperaturer för att minimera metanutsläpp eftersom dessa sedan är svåra att få bort i biofilter. Utsläpp av lustgas kan minska genom att undvika för lågt pH och för låg kol-kväveknot i utgångsmaterialet, exempelvis genom inblandning av mogen kompost och halm. Det är även viktigt att avskilja ammoniak i en skrubber före biofilter för att undvika betydande lustgasbildning i filtret.

Utsläpp från biogasanläggningar

Klimatpåverkan från biogasanläggningar kan vara av betydelse i de fall metan eller lustgas tillåts läcka ut från exempelvis tankar eller utmatningspunkter. Med en väldimensionerad anläggning med god kontroll bedöms dock utsläppen kunna begränsas till <0,5 – 1 % av producerad metan. Det bör finnas en potential att reducera dessa emissioner ytterligare (RVF, 2005).

Betydande utsläpp kan ske i samband med uppgradering av biogas till fordonskvalitet. Antas nuvarande normala garantinivå på ca. 2 % metanförluster skulle detta motsvara drygt 5 kton CO₂/år. Med ökad uppgradering till ca. 70 % av all biogas ökar utsläppen till knappt 25 kton/år. Men här finns enligt ovan möjlighet till betydande reduktion.

Två investeringar i katalytisk oxidation med värmeutvinning indikerar att dessa utsläpp kan undvikas i princip helt till en åtgärds kostnad på ca. 0,16 kr/kg CO₂.¹⁷⁵ Avfallsbranschen har initierat ett frivilligt åtagande om att minimera utsläppen från biogasanläggningar.

En ytterligare åtgärd är ställa krav på utsläpps begränsningar i Klimp-beslut i nivå med vad som är praktiskt och ekonomiskt rimligt enligt ovan. Naturvårdsverket har i sina förslag till beslut för årets Klimp-ansökningar formulerat ett krav på att utsläppen ska understiga 1 % av bildad metan.

7.3.5 Sammanfattning och styrmedel

I Tabell 40 redovisas bedömningarna av potential för minskade utsläpp och kostnadseffektivitet för respektive åtgärd. Var utsläppsminskningen sker varierar i hög grad mellan de olika åtgärderna - i vissa fall innebär åtgärden att ett utsläpp som inte i nuläget omfattas av den nationella utsläppsrapporteringen kan minskas.

¹⁷⁴ Personligt meddelande Håkan Jönsson, SLU, 2007; Amlinger m.fl. 2003)

¹⁷⁵ Klimp-ansökningar Stockholm Vatten och Eon 2006.

Nedan resoneras översiktligt om potential och styrmedel för respektive åtgärd. Utgångspunkten för val av styrmedel är att använda eller utveckla redan beslutade sådana vilket följer slutsatserna i den nationella avfallsplanen.

Ökad andel avfallskraftvärme

Potentialen för utsläppsminskningar genom ökad avfallskraftvärmeproduktion kan påverkas genom den nya förbränningsskatten. Minskningen uppstår formellt i energisektorn i det sammanlänkade nordeuropeiska elsystemet. Även om det finns tidiga tecken på att skatten inte fått den styrande effekt som regeringen avsåg så behövs mer tid innan man kan dra slutsatser om ytterligare eller ändrade styrmedel.

Ökad andel avfallsbränslen i cementindustrin

En betydande och i många fall lönsam åtgärd är att cementindustrin använder avfall i stället för kol i högre grad. Denna utveckling pågår redan. Men en viktig förutsättning för att det ska öka är, enligt cementindustrin, att man får tillräcklig tilldelning av utsläppsrätter så att man kan sälja rätter motsvarande de minskningar man kan göra genom avfallsförbränning.

Det finns en risk att tillverkningen i Sverige och EU blir för dyr om inte industrin får sälja utsläppsrätter. Svensk cementindustri kommer då att förlora i konkurrenskraft till anläggningar utanför EU där tillverkning sker utan förnybara bränslen. Indirekt skulle även ökade avgifter för avfallsförbränning innebära ökad lönsamhet för användning av avfall i cementindustrin.

Ökad materialåtervinning

Ökad återvinning av plast och metall ur verksamhetsavfall som idag förbränns har en relativt stor potential och åtgärdskostnaden kan vara måttlig. Det finns dock en del oklarheter kring dagens hantering liksom kring kvaliteten på utsorterad plast. På en fri marknad är det sannolikt mest lämpligt att stödja ökad utsortering genom att förbättra ekonomin antingen genom att beskatta även verksamhetsavfall till förbränning, eller underlätta ekonomiskt för ökad utsortering och återvinning. Ett annat alternativ kan vara ett frivilligt åtagande av huvudaktörerna genom Återvinningsindustrierna och Sveriges Åkeriföretag.

Även måttliga ökningar av metallåtervinningen är av stor betydelse för att minska klimatpåverkan. Det har dock inte varit möjligt att analysera och lyfta fram rimliga åtgärder i denna studie. Med tanke på de stora minskningar återvinning av koppar och aluminium medför, bör dessa metaller prioriteras liksom stål eftersom mängderna är mycket stora.

Ökad materialåtervinning ur hushållsavfall kan ha betydande potential. Åtgärder och åtgärdskostnader bör dock utvärderas närmare innan man kan dra slutsatsen att det är kostnadseffektivt i förhållande till övriga åtgärder. Denna åtgärd berörs utförligt i andra utredningar.

Alternativ till avfallsbränsle

Antaganden om avfallsförbränning ersätter fossila eller förnybara bränslen påverkar potentialen hos vissa åtgärder. Om avfallsförbränning antas ersätta fossila bränslen på sikt minskar vinsterna med återvinning av plast, papper och bioavfall. Vinsterna för biogas till drivmedel minskar om biogas till lokal uppvärmning också antas ersätta fossila bränslen på sikt.

Tabell 40 Potential för minskade CO₂-utsläpp från avfallssektorn

Åtgärd	Potential för minskade CO ₂ -utsläpp (kton/år) (NIR-sektor och land som påverkas)	Kostnader i kr/kg CO ₂	Möjliga styrmedel
Ökad kraftvärmeproduktion vid avfallsförbränning	200-1000 (energisektorn, Norden/EU)	-	Avvakta effekter av förbränningsskatt
Minskade lustgasutsläpp från lagring av avloppsslam	300 (utanför NIR, Sverige)	0,05	Utveckla AR 2003:15, ev. omforma till FS
Biogas ur avfall ersätter fossila drivmedel	185 (utanför NIR, Sverige)	0,2	Skattereduktion och investeringsstöd
Ökad återvinning av plast och metall ur verksamhetsavfall (exkl. avfall från tillverkningsindustrin)	100-240 (inom industrin, Sverige?)	0,4-2,0	Skatt på förbränning av verksamhetsavfall, frivilligt åtagande,
Förnybara avfallsbränslen ersätter kol i cementindustrin	70-140 (400 på sikt) (industrins förbränning, Sverige)	<0	Utsläppshandel
Ökad metallåtervinning	300-480 (järn- och stålindustrin, Sverige?)	-	-
Ökad materialåtervinning ur hushållens avfall	120-400 (industrin, Sverige?)	-	Se Naturvårdsverket 2006 m.fl.
Ökad biogasproduktion ur avfall	300 (transport eller energitillförsel, Sverige)	-	Skattereduktion och investeringsstöd
Övergång från kompostering till rötning av matavfall	50 (transport eller energitillförsel, Sverige)	0,8	Utveckla AR 2003:15, ev. omforma till FS
Minskade metanutsläpp från uppgradering av biogas	5-25 (utanför NIR, Sverige)	0,15	Utveckla AR 2003:15, ev. omforma till FS
Minskade utsläpp från kompostering och rötning	- (utanför NIR, Sverige)	-	Utveckla AR 2003:15, ev. omforma till FS

Utsläpp från lagring och behandling av organiskt avfall

Lagring av avloppsslam kan medföra betydande utsläpp som idag inte omfattas av den officiella statistiken. Sannolikt kan utsläppen minska avsevärt till relativt

låg kostnad. Liksom för att minska utsläpp från rötning, kompostering och biogasuppgradering finns goda möjligheter att utnyttja potentialen genom att utveckla befintliga allmänna råd för lagring och biologisk behandling. Behovet av konkurrensneutralitet på en allt friare avfallsmarknad ger stöd i branschen för att även omforma råden till regler. I så fall skulle även en övergång från kompostering till rötning förstärkas genom ökade krav på kompostering som idag sker öppet.

Ökad biogasanvändning

Existerande styrmedel för att öka biogasproduktionen generellt samt öka andelen biogas som används som drivmedel är skattebefrielser, nedsättning av förmånsvärden, avgiftsbefrielser och investeringsstöd. Utvecklingen mot ökad drivmedelsanvändning pågår därför, även med stöd från den allt bättre infrastrukturen och tillgången på gasfordon. Det är osäkert om behovet av investeringsstöd kvarstår.

För ökad biogasproduktion generellt bedömdes 2005 att det statliga investeringsstödet LIP kan vara av fortsatt betydelse för anläggningar för rötning av fasta organiska avfallsslag. Röttningsanläggningar för enklare avfall liksom gasuppgraderingssystem bedömdes däremot vara relativt väl etablerade med god funktion (Naturvårdsverket 2005c). Även om metoderna mognat under senare år tyder Klimp-ansökningar på att det finns relativt stor potential till nya metoder och tillämpningar i avfalls-, energi- och jordbrukssektorn. Investeringsstöd kan därför främja mer långsiktig utveckling av effektivare metoder. Detta som ett komplement till skatter och avgifter vilka kan förändras på kortare sikt.

Erfarenheter från Tyskland

En övergripande jämförelse av potentialer kan även göras med Tyskland. Följande slutsatser återfinns i en tysk studie som bedömer klimatpåverkan från hushållsavfall 1990, 2005 samt 2020. Studien beaktar inte ändrade avfallsmängder. (UBA-FB III, 2005)

Det tyska förbudet mot deponering av organiskt avfall från 2005 bedöms minska klimatpåverkan mellan 1990 och 2005 med knappt 40 Mton CO₂. Förbudet planeras genomföras utan att dispenser ges utan avfallet måste istället mellanlagras eller exporteras om nationell kapacitet för behandling av avfallet skulle saknas.

Materialåtervinning (metall, glas, papper, förpackningar) minskar enligt studien klimatpåverkan 2005 med 3,8 Mton CO₂. Av detta står metall och papper för 3,2 Mton.

Åtgärder för att minska utsläppen ytterligare 2005-2020 är främst avfallsförbränning med elproduktion. Förbränningen kan minska utsläppen 2005-2020 med ca. 4,4 Mton CO₂ om alternativbränslet är kol. Skulle alternativbränslet istället utgöras av naturgas minskar potentialen till ca. 3 Mton.

Ökad metallåtervinning 2005-2020, bedöms kunna minska utsläppen med ca. 0,8 Mton CO₂/år. Åtgärden bakom detta är då inte ökad källsortering utan ökad central utsortering vid förbehandlingsanläggningar och i askan från avfallsförbränning. Utsorteringsgraden från askan bedöms öka från dagens 10 (ej Fe-metaller) och 50 % (Fe-metaller) till 50 respektive 70 %.

Energiutvinning av slam bedöms kunna minska utsläppen 2020 med ca. 2,5 Mton CO₂ jämfört med ca. 0,3 Mton 2005. Här antas effektiv samförbränning i kolkraftverk.

En övergång från kompostering till rötning av matavfall bedöms kunna minska utsläppen 0,25 Mton. I detta fall antas att kompost delvis ersätter torv vilket minskar CO₂-utsläppen med ca. 2 kg per kg torv. Man förordar även slutna anläggningar för kompostering för att minska klimatpåverkande utsläpp.

Viktiga slutsatser med relevans för Sverige kan vara att söka framtida potential i att utnyttja energin effektivare samt öka återvinningen av papper och metall om detta är möjligt. I Tyskland uppkommer i stora drag 10 ggr så mycket avfall som i Sverige. Närmare jämförelser med den potential man i Tyskland bedömt för avfallsförbränning är svår att göra dels för att man inte tillvaratar lika stor del av energin i Tyskland som i Sverige, dels för att ersättningsbränslet helt antas vara importerad kol eller naturgas.

8 Jordbrukssektorn

8.1 Sammanfattning

Jordbruket står idag för utsläpp av metan och dikväveoxid på ca. 8,6 Mton koldioxidsekvivalenter. Genom bortodling av mull avgår stora mängder koldioxid, något som dock i viss mån motverkas av att det även binds in kol i betesmark. Emissionerna varierar kraftigt mellan åren men är av storleksordningen 2 Mton. Utsläppen av koldioxid från energianvändningen inom jordbruket beräknas dessutom uppgå till ca. 1 Mton/år. Utsläppen av metan och lustgas bedöms minska med 20 procent till 2020 i jämförelse med år 1990. Även utsläppen från energianvändningen minskar.

Det finns ett antal möjliga åtgärder att minska utsläppen av växthusgaser inom jordbruket:

- Effektivare användning av arbetsmaskiner kan ge utsläppsreduktioner på ca. 100 kton per år och bedöms som lönsamt.
- Mindre energikrävande torkning av spannmål kan realiseras till en låg men positiv åtgärds kostnad, dock är även potentialen förhållandevis liten.
- Konvertering till biobränslen för uppvärmning och i växthus kan reducera utsläppen med ca. 200 kton. Denna utveckling ligger inte i prognosen men är trolig vid dagens oljepris.
- Diesel kan ersättas med RME. Potentialen bedöms, genom en grov överslagsberäkning, till ca. 300 kton.
- En bättre kunskap om mekanismerna bakom utsläppen av dikväveoxid skulle kunna leda till att åtgärderna mot dessa emissioner kunde samordnas med de åtgärder mot växtnäringsläckage som redan pågår.

En åtgärd som kan bidra till en ökad kolsänka är ändrad markanvändning på organogena jordar, till exempel genom att lägga dessa marker i träda eller använda dem som betesmarker istället för att odla dem.

Jordbruket kan också spela en större roll som bioenergiproducent, t.ex. genom ökad salixodling och produktion av biogas. Salixodling ligger idag volymmässigt på en sådan nivå att fungerande marknader saknas, men potential finns för att denna odling ska bli även företagsekonomiskt lönsam. Biogasproduktion från stallgödsel har en potential att reducera utsläpp på i storleksordningen 450 kton, varav ca. hälften i det nordiska elsystemet. Ur ett samhällsligt perspektiv överstiger nyttan kostnaderna för denna åtgärd, d.v.s. så samtliga effekter som åtgärden ger upphov till värderas.

8.2 Utsläppstrender och prognoser

8.2.1 Avgränsningar och indelningar

I detta kapitel beskrivs utvecklingen av jordbrukssektorns utsläpp av växthusgaser i Sverige samt några åtgärder som skulle kunna vara möjliga att genomföra för att reducera dessa utsläpp.

I redovisningen ingår följande utsläpp och åtgärdsalternativ kopplade till:

- metan och lustgas från djurhållning och markanvändning
- energianvändning inom jordbruket ¹⁷⁶
- avgång av koldioxid från markanvändning ¹⁷⁷
- möjligheter att producera biogas och andra biobränslen

En utblick görs också mot hur vår konsumtion av livsmedel kan påverka utsläppen även i andra länder. Dessutom redovisas – mycket översiktligt – bedömningar av hur sektorn skulle kunna bidra till reducerade utsläpp genom ökad odling av bioenergi.

8.2.2 Sektorns utveckling och utsläpp

I ett globalt perspektiv är miljöpåverkan till följd av djurhållning för produktion av mjölk och kött betydande. Djurhållningen står för nära tio procent av de antropogena koldioxidutsläppen genom t.ex. avskogning, drygt en tredjedel av de antropogena metanutsläppen och två tredjedelar av de antropogena utsläppen av dikväveoxid. Sammantaget utgör detta idag närmare 20 procent av de globala utsläppen av växthusgaser. Dessutom ökar efterfrågan på mjölk och kött snabbt till följd av ökande inkomster och en växande befolkning. Till år 2050 väntas den globala köttproduktionen mer än fördubblas, medan mjölkproduktionen nästan fördubblas. ¹⁷⁸

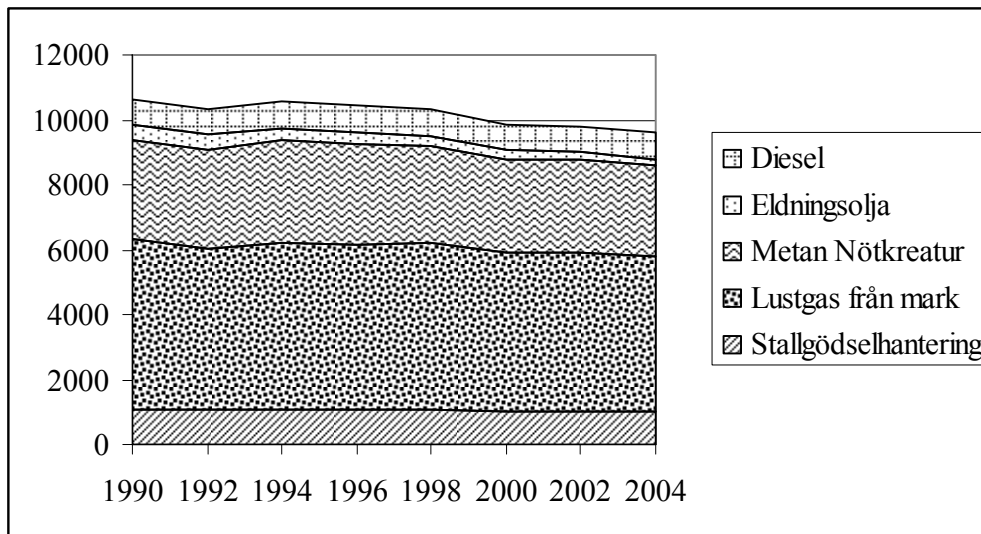
I Sverige är jordbruksproduktionen den största källan till utsläpp av metan och dikväveoxid. År 2005 uppgick sektorns utsläpp av dessa växthusgaser till 8,6 miljoner ton koldioxidekvivalenter ¹⁷⁹. Under perioden 1990 - 2005 har utsläppen av metan och dikväveoxid minskat med knappt 9 procent. Utsläppen av koldioxid från energianvändning inom jordbruk beräknas sammanlagt uppgå till drygt 1 miljon ton koldioxid.

¹⁷⁶ Redovisas i utsläppsrapporteringen som utsläpp inom energisektorn.

¹⁷⁷ Redovisas under markanvändning, ändrad markanvändning och skogsbruk (LULUCF) i utsläppsrapporteringen.

¹⁷⁸ FAO (2006)

¹⁷⁹ Vilket utgjorde ca. 12 procent av Sveriges samlade utsläpp av växthusgaser, exklusive internationell bunkring, markanvändning och skogsbruk (LULUCF).



Figur 53 Fördelning av jordbrukssektorns utsläpp av växthusgaser

De största posterna är metan från nötkreatur och dikväveoxid från mark. Utöver dessa utsläpp kan även avgången av koldioxid från mark inkluderas. Denna orsakas främst av odling av organogena jordar¹⁸⁰, och beräknas sammanlagt uppgå till ca. 3,7 miljoner ton per år¹⁸¹. Det sker dock även en betydande inlagring av koldioxid i betesmarker. Inlagringen varierar kraftigt med årsmånen. År 2005 var inlagringen 2,1 miljoner ton, men ett medeltal 1990-2005 är 1,7 miljoner ton. Nettoavgången av koldioxid från jordbruksmark blir således ca 2 miljoner ton per år. Dessa utsläpp redovisas inte i figuren ovan då de inte ingår i Sveriges redovisning av upptag och avgång av kol från markanvändning, förändrad markanvändning och skogsbruk, LULUCF, enligt bestämmelserna i Kyotoprotokollet.

Utsläpp av metan från jordbruk

Metanutsläppen kommer främst från nötkreaturens matsmältning och gödsel, medan övriga djurslag har relativt liten betydelse. Den viktigaste orsaken till de reducerade utsläppen är en minskad djurhållning. Antalet mjölkkor har minskat från 576 000 djur år 1990 till 393 000 djur år 2005. Den största minskningen skedde under 1990 och 1991 då ett stort antal företag upphörde med mjölkproduktion. En del av dessa övergick till extensiv köttproduktion med hjälp av statliga omställningsstöd, och antalet köttdjur ökade därför under första halvan av 1990-talet. Efter Sveriges inträde i EU år 1995 innebar stödsystemen och djurkvoterna inom den EU gemensamma jordbrukspolitiken (GJP) en stabilisering av djurantalet. Den långsiktiga trenden är ändå en successiv minskning av nötkreaturen eftersom antalet mjölkkor minskar. Samtidigt har mjölkproduktio-

¹⁸⁰ Vid dränering och uppodling av en organogen mark ökar genomluftningen av jorden, vilket i sin tur medför att det organogena materialet bryts ned snabbare än om marken lämnats orörd. Vid nedbrytningen av det organogena materialet frigörs växthusgaser som t.ex. CO₂, N₂O och CH₄.

¹⁸¹ Utsläppen ingår dock inte i den redovisning Sverige gör enligt bestämmelserna i Kyotoprotokollet.

nen legat på en ganska konstant nivå under perioden. Antalet mjölkkor har sjunkit i takt med att avkastningen per djur har ökat. Metanutsläppen per mjölkko har dock ökat något på grund av den ökade mjölkavkastningen, större gödselmängd och genom att en större andel av gödseln numera hanteras som flytgödsel. Utsläppen per producerad mängd mjölk har sammantaget minskat.

Mellan år 1990 och 2000 ökade konsumtionen av nötkött från 6,7 till 10,8 kg per person och år i Sverige¹⁸². Av det nötkött som konsumerades i Sverige samma år 2005 var ca. 65 procent producerat i Sverige och resten importerades från andra europeiska länder¹⁸³. De utsläpp som köttproduktionen i andra länder orsakar räknas inte in i den svenska statistiken¹⁸⁴. Från 1990 till år 2000 minskade konsumtionen av mejeriprodukter (mjölk, fil, ost och grädde) från 179,5 till 165,1 kg per person och år. Sverige nettoimporterar ökande mängder ost men endast en mindre mängd mjölk¹⁸⁵.

Utsläpp av dikväveoxid från jordbruk

Dikväveoxidutsläppen kommer främst från tillförsel och omvandling av kväve i mark. Kvävet tillförs marken via användning av stallgödsel och mineralgödsel, odling av kvävefixerande grödor samt atmosfäriskt nedfall. Även odlingen som sådan, särskilt av organogena jordar, ger betydande avgång av dikväveoxid, liksom omvandling av det kväve som utlakas till sjöar och vattendrag. De minskade utsläppen sedan 1990 beror på att användningen av såväl mineralgödsel som stallgödsel har minskat. Mängden stallgödsel minskar främst som en följd av det sjunkande antalet mjölkkor. De åtgärdsprogram som genomförts för att minska kväveförluster från jordbruket har också reducerat de indirekta utsläppen av dikväveoxid från utlakat kväve och ammoniaknedfall. Även utbyggnaden av flytgödselhantering för grisar och mjölkkor har reducerat utsläppen. I motsats till vad som gäller för metan är dikväveoxidutsläppen från flytgödselsystem avsevärt lägre än från traditionell fastgödselhantering.

Utsläpp från jordbrukets energianvändning

Utsläppen från jordbrukets användning av eldningsolja och diesel uppskattas till ca. 1 Mton per år¹⁸⁶, varav ca. 80 procent kommer från dieselanvändning.

¹⁸² Jordbruksverket (2006a)

¹⁸³ Naturvårdsverket (2003)

¹⁸⁴ I en jämförelse mellan svensk, irländsk och brasiliansk nötköttsproduktion konstateras att den extensiva brasilianska produktionen har den lägsta användningen av fossil energi per kilo kött. Dock är metanutsläppen höga p.g.a. en stor andel näringsfattigt grovfoder genom bete. Den irländska betessången är något kortare än den brasilianska och användningen av fossil energi för foderproduktion därför högre. Allra kortast är den svenska betessången, men den totala användningen av fossil energi dämpas av att svensk foderproduktion har en låg insats av kvävegödsel som är energikrävande att framställa. Sammantaget gör detta att det är svårt att generellt utröna vilken nötköttproduktion som är effektivast ur klimat- och energisynpunkt. Se Naturvårdsverket (2007).

¹⁸⁵ Svensk Mjölk (www.svenskmjolk.se)

¹⁸⁶ Fogelberg m.fl. (2007)

Oljeanvändningen för uppvärmning av småhus på lantbruksfastighet minskade mycket kraftigt under 2005¹⁸⁷. Användningen av olja för växthusodling har minskat med ca. 33 procent mellan 1999 och 2005¹⁸⁸. Den totala växthusarealen för odling minskade med knappt 11 procent mellan 2002 och 2005¹⁸⁸. Oljeanvändningen har ersatts med naturgas, el och biobränsle¹⁸⁸.

Avgång av koldioxid från jordbruksmark

Användandet av mark för jordbruksproduktion leder till ett utbyte av koldioxid mellan mark och atmosfär¹⁸⁹. Storleken på dessa flöden varierar mellan olika typer av mark. Oxideringen av kol vid bortodlingen av markens övre skikt orsakar stora koldioxidemissioner om marken är av organogent ursprung (av torvtyp) vilket gör dessa marker till en betydande koldioxidkälla. Storleken på koldioxidflödena är däremot mer blygsamma om marken är av minerogent ursprung.

Beräkningarna av avgången av koldioxid från organogen jordbruksmark baseras på empiriska studier av bortodlingshastighet, antaganden om hur stor del som oxideras, kolkoncentration och grödo fördelning. Genom analys av olika digitala kartmaterial 2005¹⁹⁰ skattades arealen till 252 000 ha¹⁹¹ och anses inte variera i någon högre grad över tiden, det är dock troligt att arealen har minskat något de senaste årtiondena. Det som troligen är mer avgörande för emissionernas storlek är hur grödo fördelningen utvecklas. Avgången av koldioxid från odling av organogena jordar bedöms för närvarande uppgå till ca. 3,7 miljoner ton per år¹⁹².

Koldioxidbalansen för mineraljordarna bestäms genom modellering med den s.k. ICBM modellen¹⁹³ där de årliga värdena baseras på dagliga väderdata, årlig skörd och användning av gödsel. Om dessa marker utgör en källa eller sänka avgörs huvudsakligen av klimatet det aktuella året och på skördeutfallet året före. En hög skörd ger en större mängd nedbrytbart material. Varmt och fuktigt väder gör nedbrytningen effektivare vilket medför högre emissioner. En kombination av mycket tillgängligt material och varmt och fuktigt väder ger alltså de högsta emissionerna. Ingen trend kan identifieras som kan härledas till den minskade stallgödselanvändningen trots att gödselanvändningen spelar en viss roll. Arealen jordbruksmark av minerogent ursprung skattas inom ramen för RIS (Riksinventeringen av skog) som kartlägger all markanvändning i Sverige genom statistisk stickprovsanalys. Mineraljordarna anses över en längre tid vara mer eller mindre i balans men variationerna från år till år kan ändå vara relativt stora.

¹⁸⁷ SCB EN 16SM 0604

¹⁸⁸ SCB JO 33 SM 0601

¹⁸⁹ CO₂ från jordbruksmark ingår inte i vårt Kyotoåtagande till 2010. Det ingår dock i LULUCF enligt Klimatkonventionsrapporteringen. Vi vet inte hur systemet kommer att se ut år 2020, men det är troligt att alla emissioner ingår.

¹⁹⁰ Berglund & Berglund (2005)

¹⁹¹ Den totala åkerarealen uppgick till ca. 2,7 miljoner hektar, mindre än 10 % av denna areal utgörs alltså av organogen mark.

¹⁹² NIR (2007)

¹⁹³ Andrén & Kätterer (2001)

Det sker som nämnts tidigare även en inbindning av kol i betesmarker. Kolinbindningen på betesmark beräknas med RIS statistiska stickprovsanalys som grund. Inbindningen har mellan 1990 och 2005 varierat mellan 0,6 och 3,4 miljoner ton koldioxid. I medeltal var inbindningen under denna period 1,7 miljoner ton.

Bioenergiproduktion på jordbruksmark

Enligt Jordbruksverket¹⁹⁴ har intresset för produktion av bioenergi från jordbruket ökat kraftigt under senare år men andelen biobränslen som kommer från jordbrukssektorn är fortfarande mycket liten.

Totalt användes ca. 3 procent av den svenska åkerarealen för bioenergiödling. Av de totalt omkring 110 TWh biobränslen, torv och avfall som användes i det svenska energisystemet 2004 bedöms endast ca. 1 – 1,5 TWh komma från jordbrukssektorn.¹⁹⁵

Störst är produktion av etanol från spannmål (främst vete). I övrigt odlas havre för eldning, salix för eldning i värmeverk och kraftvärmeverk samt raps för drivmedelsframställning (RME). Dessutom tillvaratas halm från spannmålsodling. Odlingen sker med arealstöd från EU för odling på åkermark (45euro/ha) och på s.k. uttagen areal som annars skulle hamnat i träda. Det finns även ett nytt landsbygdsprogram från 2007 inom vilket ett särskilt stöd ges för anläggning av fleråriga energigrödor (salix, poppel eller hybridasp). Ersättningen ska uppgå till 6000 kr per hektar vilket innebär en höjning jämfört med de senaste årens nivåer men fortfarande en lägre nivå jämfört med den stödnivå på 10 000 kr per hektar som gällde i mitten av 90-talet. I det nya landsbygdsprogrammet har som mål satts upp att 30 000 hektar fleråriga energigrödor ska planteras under programperioden.

Med de stöd som ges är odling av raps för RME framställning samt odling av salix mest lönsamma enligt Jordbruksverkets beräkningar men i områden med låg avkastning är träda ett ännu mer ekonomiskt alternativ jämfört med odling av bioenergi.

Odlingen av energiskog, t.ex. salix – har inte utvecklats i den takt som förutspått. Idag odlas energiskog endast på ca. 15 000 ha. Arealen har inte ökat sedan mitten av 1990-talet. Detta kan bland annat förklaras med att en investering i en odling av en flerårig gröda innebär att kapital binds under en längre tid och storleken på avkastningen - prisutvecklingen på inhemsk energiskog – bedöms som osäker i ett så långt tidsperspektiv.

Energiskog konkurrerar med import av avfallsbränslen/biobränslen och skogsbränslen. Oljeprisets utveckling är också förknippad med osäkerhet. Odlingen minskar dessutom jordbrukarens flexibilitet. Viljan att investera påverkas även

¹⁹⁴ Jordbruksverket (2006b)

¹⁹⁵ SOU 2007:36

av ägarens ålder (äldre ägare är mer villiga att investera i fleråriga energigrödor än yngre) och av hur ägarförhållandena ser ut. Salix anläggs framförallt på marker som inte arrenderats ut.¹⁹⁶

För att odling på jordbruksmark ska kunna konkurrera med bioenergi från skogen krävs särskilda odlingsbidrag. Men svensk jordbruksråvara för bioenergi-framställning kan dessutom ha svårt att konkurrera med motsvarande från andra länder- jämför exempelvis priset -exklusive tullavgifter - på etanol tillverkad i Brasilien med den etanol som tillverkas i Sverige.

8.2.3 Prognoser över jordbrukssektorns utsläpp

Utsläppen från jordbrukssektorn beräknas fortsätta att minska fram till 2010 och ligga 15 % lägre än 1990 års utsläpp.¹⁹⁷ Minskningen beror till stor del på den minskade djurhållningen. Ett minskat antal nötkreatur bidrar till lägre metan-avgång från djurens ämnesomsättning medan förlusterna från stallgödseln ökar på grund av ökad användning av flytgödselhantering. Avgången av dikväveoxid minskar främst som en följd av minskad användning av mineralgödsel, mindre areal odlade organogena jordar, reducerad kväveutlakning och övergång till flytgödselhantering.

För perioden 1990-2010 beräknas utsläppen minska med ca. 11 % för metan och ca. 15 % för dikväveoxid. Dikväveoxid står för en något större procentuell minskning än metan men också för en större andel av utsläppen.

Tabell 41 Historiska och prognostiserade utsläpp från jordbrukssektorn, kton koldioxid-ekvivalenter

	1990	2005	2010	2015	2020	1990-2010	1990-2015	1990-2020
Metan	3 374	3 283	3 100	3 000	2 900	-8 %	-11 %	-14 %
Dikväveoxid	5 994	5 283	4 900	4 700	4 500	-18 %	-22 %	-25 %
Totalt	9 369	8 565	8 000	7 700	7 400	-15 %	-18 %	-21 %

Utsläppen styrs främst av jordbrukspolitiken och hur jordbruket kommer att utvecklas i stort. Prognosen till 2010 baseras bland annat på resultat av konsekvensanalyser av Mid-term Review (MTR)¹⁹⁸ som genomförts av EU-kommissionen och som har modifierats utifrån nationella bedömningar. Ett annat viktigt underlag har varit Jordbruksverkets lönsamhetsberäkningar¹⁹⁹ för olika produktionsformer inom det svenska jordbruket vid en genomförd MTR-reform. Den visar att mellan 20-50 % av dagens jordbruksföretag med mjölk- eller spannmålsproduktion kan bli olönsamma jämfört med dagens situation.

¹⁹⁶ Helby m.fl. (2004)

¹⁹⁷ Naturvårdsverket (2006)

¹⁹⁸ EU-kommissionens halvtidsöversyn av CAP (Common Agricultural Policy) benämns Mid Term Review (MTR) Reformen går i princip ut på en ytterligare marknadsorientering där en förändring var att flytta stöden från produkten till producenten, s.k. frikoppling av stöden. MTR beslutades 2003 och infördes i Sverige 2005.

¹⁹⁹ Jordbruksverket (2004)

Även köttproduktionen förväntas påverkas negativt. En rad dynamiska effekter kommer att dämpa konsekvenserna, t.ex. en förväntad prisuppgång på nötkött, förändringar av det nya svenska landsbygdsprogrammet och introduktion av nya produktionsformer. Med undantag för en fortsatt minskning av antalet mjölkkor, har husdjuren inom jordbruket legat på en relativt konstant nivå under perioden 2000 – 2003. Fram till 2010 antas djurantalet minska på grund av MTR-reformens effekter.

Till 2020 bedöms utsläppen minska med 21 % jämfört med 1990 års nivå. Prognosen till 2020 bygger på Jordbruksverkets studie²⁰⁰ av hur det kan se ut år 2020 med dagens jordbrukspolitik och där OECDs prisprognos för jordbruksprodukter antas gälla. I prognosen ingår också att den globala efterfrågan ökar med en ökande befolkning, en större andel kött i konsumtionen och ökad användning av bioenergi. Utsläppen kommer att minska då anpassningen till MTR-reformen fortsätter och innebär en fortsatt minskad areal spannmålsodling och minskat antal mjölkkor. Detta beror främst på produktionsstöden som frikopplas med början år 2005.

Spannmålsodlingen är en av de produktionsgrenar som beräknas minska mest, på grund av att spannmålsintäkterna inte täcker kostnaderna i stora delar av landet. Tidigare har arealersättningen använts för att täcka underskottet men när stödet frikopplas är det ofta lönsammare att lägga marken i träda och nöja sig med gårdsstödet. Produktionen av mjölk och nötkött beräknas också minska. Även här är förklaringen att produktintäkterna inte täcker de löpande kostnaderna vilket tidigare kompenseras med prisstöd och djurbidrag. Svinproduktionen beräknas också minska men där beror det inte på frikopplade djurbidrag utan på att fodret beräknas bli dyrare i Sverige när odlingen av fodersäd minskar.

Den stora omställningen sker när stöden frikopplas och efterhand anpassas produktionen genom t.ex. produktivitetsökningar. Vid en framskrivning av politiken till 2020 beräknas en del av produktionen återhämta sig men framför allt produktionen av nötkött fortsätter att minska eftersom den antagna produktivitetsökningen i Sverige inte fullt ut täcker den ökade internationella konkurrensen som förutspås av OECD.

Utsläppen av koldioxid från jordbrukets energianvändning redovisas inte ovan. Dessa utsläpp väntas minska fram till år 2020.

²⁰⁰ Jordbruksverket (2007)

Tabell 42 Historiska och prognostiserade utsläpp från jordbrukssektorn, kton koldioxid-ekvivalenter

	1990	2005	2010	2015	2020	1990-2010	1990-2015	1990-2020
Matsmältning	3020	2804	2600	2500	2400	-14 %	-17 %	-21 %
Gödselhantering	1098	993	1000	1000	1000	-9 %	-9 %	-9 %
Mark	5251	4769	4400	4150	3900	-16 %	-21 %	26 %
Totalt	9369	8565	8000	7700	7400	-15 %	-18 %	-21 %

8.3 Åtgärdsalternativ och åtgärdskostnader

8.3.1 Ytterligare åtgärder?

De åtgärder som hittills genomförts inom jordbruket och som resulterat i lägre utsläpp av växthusgaser har enbart tillkommit som *indirekta* effekter av styrmedel införda med andra syften än att reducera klimatpåverkan. Utsläppen minskar och kan fortsätta minska i framtiden främst som följd av att:

8.3.2 Minskning av antalet husdjur och utsläppen per producerad mängd mjölk och kött, främst från nötkreatur

Den viktigaste åtgärden för minskade utsläpp globalt är en reducerad konsumtion av nötkött. Ett tillräckligt stort antal betande djur i Sverige är dock en förutsättning för att miljömålet ”Ett rikt odlingslandskap” ska nås, eftersom den biologiska mångfalden i odlingslandskapet kräver betande djur. Ytterligare minskningar av djurantalet i Sverige med bibehållen nivå på konsumtionen skulle kunna leda till ökad import av mjölk och kött, som orsakar växthusgasutsläpp i andra länder och därmed inte minskar problemet globalt.

Det är svårt att hitta åtgärder som kan ge ytterligare minskningar av utsläppen per djur utöver den utveckling som ändå sker på grund av de ekonomiska villkoren i sektorn – utan att äventyra andra mål eller ge avkall på t.ex. djurhälsan. Utsläppen per producerad enhet från mjölkkor väntas fortsätta reduceras p.g.a. avelsarbete som ger ökad avkastning.

Att förändra det foder som ges till djuren (från grovfoder till kraftfoder) i syfte att minska metanemissionerna rekommenderas av djurhälsoskäl inte av Jordbruksverket. Dessutom skulle energianvändningen för foderproduktion öka och betet krävs för att bevara den biologiska mångfalden.

8.3.3 Klimatanpassade kostvanor

Det finns en rad möjligheter att energieffektivisera och klimatanpassa sina kostvanor²⁰¹. Då förändringar i konsumtionen skär över flera sektorer enligt den

²⁰¹ Exempelvis ger baljväxter per kg ca. en tiondel av växthusgasutsläppen i jämförelse med animaliskt protein (Naturvårdsverket, 1998).

struktur som används i Kontrollstationen 2008 och miljöeffekterna kan uppstå utanför Sverige belyses dessa åtgärder endast översiktligt, se vidare Bilaga 3.

8.3.4 Minskad användning av gödselmedel

Utsläppen av dikväveoxid kan reduceras genom att mindre kväve tillförs marken. De åtgärdsprogram som genomförs för miljö kvalitetsmålet Ingen övergödning ger positiva effekter i form av minskade utsläpp av dikväveoxid. Men kunskapen om vad som orsakar dessa emissioner är bristfällig varför det är svårt att ta hänsyn även till denna effekt i utformningen av nya åtgärdsprogram om inte nödvändig kunskap tas fram.

8.3.5 Minskning av utsläppen från hanteringen av stallgödsel

Dessa utsläpp kan minska främst genom en ökad användning av gastät täckning av gödselbehållare där det metan som bildas samlas upp och förbränns. Täckning av gödselbehållare ger även lägre energianvändning, genom att regnvatten hindras från att öka volymen som ska röras om²⁰². Om stallgödseln tas till vara för biogastillverkning har åtgärden även potential att reducera ytterligare utsläpp från den fossilbränsleanvändning biogasen kan ersätta. En allmän rötning av flytgödsel från svin och mjölkkor (ca. 50 procent av all stallgödsel) i Sverige kunna leda till utsläppsminskningar motsvarande ca. 450 kton koldioxidekvivalenter per år om biogasen används för el- och värmeproduktion²⁰³. Drygt 50 procent av utsläppsminskningen beräknas uppstå i det nordiska elsystemet. Stallgödseln kan också samrötas i större biogasanläggningar och biogasen kan även användas - efter uppgradering- som fordonsbränsle. Så sker redan i ett mindre antal anläggningar i dag i södra Sverige.

Ett fåtal (ca10) gårdsanläggningar är i drift. Intresset för gårdsbaserad biogasproduktion har ökat under senare år med stigande olje- och elpriser.

Företagsekonomiska kalkyler visar att en gårdsbaserad produktion av biogas kan vara lönsam för vissa gårdar med stort värmebehov - särskilt i bostadsdelen - men att investeringen i flera fall kräver ett bidrag på mellan 25-30 procent för att löna sig jämfört med gårdens befintliga värmesystem (vid ett oljepris inkl. skatt på 97 öre per kWh (44 öre per kWh exklusive skatt)²⁰⁴.

I en ekonomisk analys där även andra miljöeffekter tas med, såsom att även utsläppen av ammoniak reduceras med rätt hantering och att rötad gödsel kan ge upphov till lägre kväveläckage jämfört med örötad gödsel²⁰⁵, konstateras att biogasproduktion är samhällsekonomiskt lönsamt²⁰⁶.

²⁰² Drivmedelsåtgången för att röra om i en flytgödselbrunn är ca. 0,3 liter/m³ (Fogelberg m.fl. 2007).

²⁰³ Kostnadsberäkningar och potentialer för olika gårdsbaserade behandlingsmetoder för stallgödsel redovisas i bilaga 2.

²⁰⁴ Lantz (2004)

²⁰⁵ Lüthi (2005)

²⁰⁶ Campos (2007)

Det fåtal anläggningar med gårdsbaserad rötning som finns har delfinansierats med medel från Klimp och det förra LBU- programmet. Den här typen av teknik kan var aktuell för investeringsbidrag även i det nya landsbygdsprogrammet som startar 2007. JTI har under hösten 2006 startat ett arbete med att närmare studera hur de ekonomiska förutsättningarna för gårdsbaserad biogasproduktion ska kunna förbättras.

I SOU 2007:36 konstatera gödselbaserad biogasproduktion kan förväntas bli tillräckligt ekonomiskt lönsamma för att marknaden självt skulle kunna introducera dessa bioenergiformer.²⁰⁷

8.3.6 Energieffektivisering

Utsläppen från arbetsmaskiner som jordbrukstraktorer, skördetröskor m.m. är ca. 800 kton per år. Det finns olika metoder att minska drivmedelsförbrukningen och därigenom utsläppen från jordbrukets arbetsmaskiner. Det kan handla om sparsam körning och ändrade produktionsmetoder för jordbearbetning. Bara genom att undvika tomgångskörning finns en potential att spara ca. 5 procent drivmedel jämfört med idag. Att övergå till sparsam körning bedöms kunna sänka utsläppen med 5 till 10 procent. Sammantaget skulle dessa åtgärder minska utsläppen med ca. 100 kton per år²⁰⁸. Dessutom tillkommer en icke-kvantifierad potential för ändrade produktionsmetoder.

Energianvändningen för torkning av spannmål kan minskas på flera sätt, t.ex. genom andra metoder för konservering eller värmeåtervinning och bättre underhåll av torkanläggningarna. Vid värmeåtervinning är besparingspotentialen i storleksordningen ca. 10 procent och kostnaden för denna utrustning är ca. 10 procent av investeringskostnaden för en torkanläggning. För större torkanläggningar (över 3 MW) är besparingspotentialen 25 till 30 procent.²⁰⁸

8.3.7 Ökad användning av förnybara bränslen

Med dagens oljeprisnivåer finns förutsättningar för en ökad användning av förnybar energi i växthusodling²⁰⁹. De kalkyler som redovisas i visar positiva resultat för de flesta alternativa energislagen och detta trots att växthusnäringen endast omfattas av mycket låga koldioxidskatter. Kortast återbetalningstid ger användning av flis eller grundvattenvärmepump samt biogas förutsatt att biogasen både används för koldioxidgödsling och uppvärmning. Energikostnaderna utgör en mycket stor del av växthusföretagens totala kostnader, ca. 20-30 % av den totala omsättningen. Behovet av att genomföra åtgärder för att reducera dessa kostnader är därför mycket stort. Det kan komma att ges LBU – stöd till energiomställning/effektivisering av växthus²¹⁰.

²⁰⁷ SOU 2007:36

²⁰⁸ Fogelberg m.fl. (2007)

²⁰⁹ Lantz m.fl. (2006)

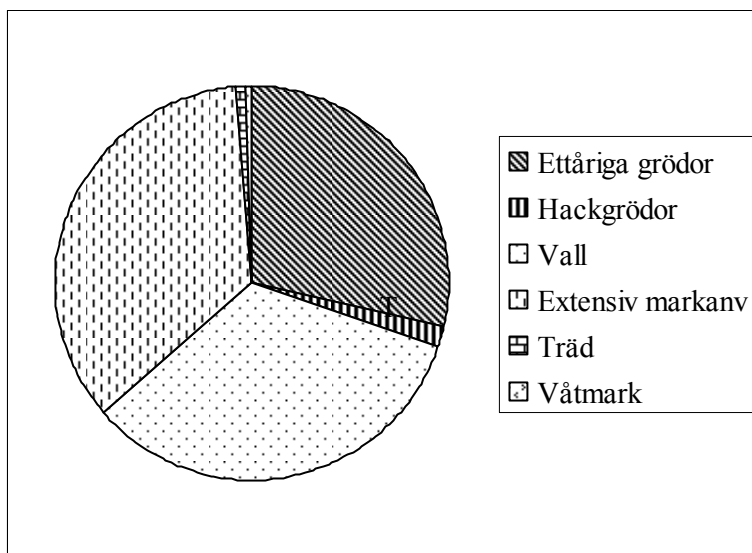
²¹⁰ Skånes genomförandestrategi hösten 2006

Det är även lönsamt att övergå till värmepump och bibränslen för uppvärmning av bostadshus inom jordbruket. Kostnaden för den här typen av åtgärd är den samma eller lägre²¹¹ jämfört med motsvarande åtgärd i bostadssektorn i övrigt. Vi antar att fossila bränslen för uppvärmning är helt ersatta av förnyelsebara.

Även diesel kan ersättas med förnybara bränslen såsom RME (rapsmetylester). Det är relativt enkelt att konvertera traktorer men för att det ska genomföras ”frivilligt” krävs en besparing genom lägre rörliga kostnader för drivmedel. För att ersätta hela jordbrukets dieselanvändning med RME krävs 300 000 ton oljeväxter, dock bedöms endast 150 000 ton kunna odlas i Sverige utan växtföljds problem. Produktionen av RME kräver också diesel, totalt minskar dieselanvändningen med ca. 75 till 80 procent för varje liter diesel som ersätts med RME.²¹² En mycket grov potential skattning är att utsläppen skulle kunna minska med ca. 0,3 Mton koldioxid genom att hälften av dieselanvändningen ersätts med RME. Kostnad för produktion av RME redovisas i kapitel 3 om transportsektorn.

8.3.8 Mindre omfattning av odling på organogena jordar

Odlingsintensiteten på de organogena jordarna är i genomsnitt lägre än för att odlad jord. Av de organogena jordarna odlas torvjordarna mindre intensivt än gyttejordarna, vars egenskaper påminner om mineraljordar²¹³. I Sverige finns ca. 250 000 ha torvjord (om gyttejord borträknas) på denna areal odlades år 2003 följande grödor;



Figur 54 Användning av organogena jordar i Sverige år 2003

Källa: Egen bearbetning av Berglund g & Berglund (2005).

²¹¹ Beroende på tillgång till lokala biobränslen.

²¹² Fogelberg m.fl. (2007)

²¹³ Berglund & Berglund (2005)

Med ettåriga grödor avses spannmål, oljeväxter, baljväxter, grödfoder, trädgårdsgrödor och lin. Denna grupp utgör närmare 30 procent av arealen. Med hackgrödor avses potatis, sockerbetor och köksväxter. Denna grupp utgör närmare två procent av arealen. Med vall avses slåtter och betesvall, frövall, grön gödsling. Denna grupp utgör drygt 30 procent av arealen. Med extensiv markanvändning avses betesmark, träda, rörfen, outnyttjad åkermark etc. Denna grupp utgör drygt 35 procent av arealen. Med träd avses t.ex. julgransodling och salix. Denna grupp utgör mindre än en procent av arealen, liksom våtmarker.

Koldioxidavgången för spannmålsodling är tre gånger högre än för vall och extensiv markanvändning, medan hackgrödorna ger fem gånger högre utsläpp än vall och extensiv markanvändning.²¹⁴ Om de arealer organogena jordar som idag odlas med ettåriga grödor (faktor för koldioxidavgång 1,5) och hackgrödor (faktor för koldioxidavgång 2,5) skulle övergå till vall eller extensiv markanvändning (faktor för koldioxidavgång 0,5), skulle avgången av koldioxid från dessa jordar kunna minska med upp till 1,4 Mton.²¹⁵ För att detta inte ska leda till ökad import av livsmedel, och eventuellt ökad koldioxidavgång i andra länder, måste produktionsbortfallet kompenseras med en ökad produktion på t.ex. mineraljordar.

Produktionsbortfallet för att låta mark som idag används för odling av spannmål har schablonmässigt skattats till ca. 3 280 Mkr/år, vilket ger en årlig kostnad på ca. 0,25 kr/kg minskad avgång koldioxid med närmare 1,3 Mton, se bilaga 2. Dock är dessa jordar på de flesta håll i landet är marginaljordar som försvinner i snabbare takt än annan jordbruksmark. Odlingsintensiteten på de organogena jordarna är i genomsnitt lägre än för att odlad jord, eftersom lönsamheten är lägre. Dock finns undantag, t.ex. finns mycket specialiserad morotsodling på organogena jordar på Gotland. År 2003 odlades hackgrödor grödor på drygt 4 000 hektar, om samtliga dessa tas ur produktion blir produktionsbortfallet närmare 250 Mkr/år. Samtidigt minskar koldioxidavgången med 0,15 Mton, vilket ger en kostnad för produktionsbortfallet på ca. 1,64 kr/kg och år.

Om man inte på ett enkelt sätt kan separera den organogena marken från övrig jordbruksmark blir det svårt att föreslå en åtgärd som påverkar utsläppen i rätt riktning. Däremot blir ju effekten densamma fast mindre även på mineraljord så en övergång till vall eller fleråriga grödor skulle kunna ge en effekt även där. Inom ett produktionsblock är andelen organogen mark känd. Ett block är en avgränsad yta som antas oförändrad över tiden. Inom ytan är även grödofördelningen känd. Man kan alltså med viss noggrannhet rikta åtgärder på block där den organogena andelen är hög (t.ex. över 80 %) och där odlingen är intensiv (t.ex. morötter). En bättre uppföljning av vad jordarna används till och hur användningen förändras över tiden kan ge ökad kunskap om möjligheterna till utsläppsminskande åtgärder.

²¹⁴ Se bilaga 3.

²¹⁵ 3,7 Mton totala utsläpp idag * 0,39 minskning till följd av ändrad markanvändning.

8.3.9 En ökad odling av energigrödor

Jordbruket kan bidra till minskade utsläpp från fossila bränslen totalt i samhället genom att öka sin produktion av energigrödor. Odling av vissa fleråriga energigrödor kan dessutom påverka utsläppen av lustgas från mark i positiv riktning samt minska energianvändningen för odling och skörd.

Vid en modellanalys av de fysiska produktionsmöjligheterna, där man också delvis väger av mot produktionskostnader i olika geografiska områden av Sverige och olika scenarier för oljepriser, konstateras att jordbruket har en ekonomiskt realiserbar potential ca. 30 TWh energi runt år 2020.²¹⁶

Samma modellkörningar tyder också på att etanol från vete, värme och el från salix respektive RME från raps har de bästa ekonomiska förutsättningarna. RME har högst lönsamhet men volymerna är begränsade p.g.a. att odlingen av raps begränsas av klimatet och växtföljdsrestriktioner. Den ekonomiska potentialen för ökad odling av vete för etanolproduktion är stor, men en begränsande faktor är begränsad investeringsbenägenhet i att bygga och driva anläggningar för etanolproduktion. Volymerna odling av salix ligger idag på en sådan nivå att fungerande marknader för maskintjänster och avsättning av produkten saknas. Man konstaterar dock att salixodling kan förväntas bli tillräckligt lönsamt för att marknaden självt skulle kunna introducera denna bioenergiformer.²¹⁶

²¹⁶ SOU 2007:36

9 Referenser

Sammanfattande beskrivning av åtgärdsalternativ

IPCC .2007. Fourth Assessment Report, Working Group III: Climate Change 2007 Mitigation of Climate Change

Avgränsningar och metod i sektorsbeskrivningarna

Carlsson F., Johansson-Stenman O. och Martinsson P. 2007. Do you enjoy having more than others? Survey evidence of positional goods. *Economica*. Published article online: 6-Mar-2007.

Luttmer E. F. P. 2005. Neighbors as negatives: Relative earnings and well-being, *The Quarterly Journal of Economics*, **120**, 963-1002.

Solnick S. J. och Hemenway D. 1998. Is more always better?: A survey on positional concerns, *Journal of Economic Behavior & Organisation*, **37**, 373-383.

Transportsektorn

Andersson M .2005. Tunga lastbilers koldioxidutsläpp, en kartläggning av tillståndet i Sverige. Examensarbete miljöteknik Högskolan Dalarna, & Vägverket.

Bates J. Brand C. Davison P. Hill N. 2001. Economic Evaluation of Sectoral Emission Reduction Objectives for Climate Change. Economic Evaluation of Emission Reductions in the transportation sector of the EU. Bottom-Up analysis. AEA Technology Environment, Abingdon, UK. .

Berndes G., Hoogwijk M och van den Broek. R. 2003. The contribution of biomass in the future global energy supply: a review of 17 studies. *Biomass and Bioenergy* **25**. 1-28.

Börjesson P. 2007. Bioenergi från jordbruket- en växande resurs. Bilagedel. Förädling och avsättning av jordbruksbaserade biobränslen. SOU 2007:36

Carlsson G .2001. Framkomlighet, säkerhet och optimala hastigheter. I *Rationalitet och etik i samhällsekonomisk analys och Nollvision 2001*. Spolander K (Red.) Seminarium på Såstaholm 27-28 november 2001.

Dreborg K-H och Jonsson D .2007. Positiva återkopplingar i transportsektorn. Naturvårdsverket, *in press*.

Elforsk .2005. Tekniska åtgärder i Sverige för att undvika framtida koldioxidutsläpp från produktion och användning av energi. Modellberäkningar av kostnad och potential. Elforsk rapport 05:47.

Energimyndigheten, Naturvårdsverket, Vägverket, Vinnova. 2003. Introduction of biofuels on the market. The public administration reference group recommendations

Energimyndigheten. 2006a. Redovisning av uppdrag i enlighet med regleringsbrevet för 2006 om kontroll och utvärdering av pilotprojekt som avses i lagen (1994:1776) om skatt på energi. Dnr 00-05-6111

Energimyndigheten. 2006b. *Energiläget 2006*. Eskilstuna.

Energimyndigheten. 2007. *Produktion och användning av biogas år 2005*, ER 2007:05, Eskilstuna

Ericsson K. och Nilsson L. J. 2006. Assessment of the potential biomass supply in Europe using a resource-focused approach. *Biomass and Bioenergy* **30** 1-15.

EU KOM. 2001. Vitbok om transportpolitiken

EU KOM. 2006. Implementing the Community Strategy to Reduce CO2 Emissions from Cars {COM(2006) 463 final}

EU. 2007. Well-to-wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context. WELL-TO-TANK Report Version 2c, March 2007.

Europaparlamentets och rådets direktiv 2003/30/EG om främjande av användning av biodrivmedel eller andra förnybara drivmedel

Europeiska Kommissionen. 2006a. Färdplan för förnybar energi KOM (2006) 34

Europeiska Kommissionen. 2006b. SEC. (2006)1719. Renewable Energy Road Map. Renewable energies in the 21st century: building a more sustainable future. Impact Assessment

Falkenmark, G. 2006. *Politik, Mobilitet och Miljö - om den historiska framväxten av ett ohållbart transportsystem*, Gidlunds förlag.

Grahn M. 2006: *Cost-effective fuel choices in the transportation sector under stringent CO2-emission reduction targets. Global energy systems modelling*. Fysisk resursteori, Chalmers tekniska högskola..

IEA. 2004a. *Energy technologies for a sustainable future – transport*. Paris, France

IEA. 2004b *Biofuels for transport. An international perspective*. Paris, France

Jonsson D. 2005 *Indirekt energi för svenska väg- och järnvägstransporter* FOI-R-1557-SE (vers 2),

Kågeson P. 2006. Plug-in som partiell lösning av personbilars energitillförsel, Nature Associates.

Kågeson, P. 2007. *Vilken framtid har bilen?* SNS förlag, Stockholm.

Miljövårdsberedningen. 2006. *Strategi för minskat transportberoende*, Miljövårdsberedningens promemoria 2006:2.

Naturvårdsverket. 2003. *Fakta om maten och miljön*. Naturvårdsverket rapport 5348.

- Naturvårdsverket. 2004. *Skattebefrielse för biodrivmedel – leder den rätt?* Rapport No. 5433
- Naturvårdsverket. 2006. *Decoupling för att minska transportlogistikens negativa miljöpåverkan. Från teori till verklighet.* Naturvårdsverket rapport 5555.
- Naturvårdsverket 2007a. Drivkrafter för bilars koldioxidutsläpp. Konsultrapport från WSP i utkast.
- Naturvårdsverket 2007b Sweden's National Inventory Report 2007.
- Nylund N-O m.fl. 2006.. Fuel savings for heavy-duty vehicles "HDEnergy" – Summary report 2003- 2005. Project report VTT-R-03125-06. www.vtt.fi
- Profu. 2007. *Tillgång på förnybar energi.* ER 2007:20, Energimyndigheten, Eskilstuna.
- Prop. 2005/06:160. *Moderna transporter.*
- SCB och SIKA 2001 RES 2001 Den nationella reseundersökningen
- Schenker Consulting AB. 2004. Kombinerad rapport av Möjligheter till minskning av CO₂-utsläpp inom transportlogistik och Potential till minskning av CO₂-utsläpp inom vissa åtgärdsområden i transportlogistik.
- SIKA. 2004. Transportarbetets utveckling. PM 2004:7
- SIKA. 2005a. *Kort om prognoser och godstransporter år 2020.* SIKA Rapport 2005:10.
- SIKA. 2005b. *Uppföljning av det transportpolitiska målet och dess delmål.* SIKA Rapport 2005:01.
- SIKA Statistik. 2007 Vägtrafik 2007:6 Fordon vid årsskiftet 2006/2007
- SOU 2003:104. Järnväg för resenärer och gods.
- Sonesson U. 2007. Personlig kommunikation 2007-06-14. SIK, Institutet för Livsmedel och Bioteknik AB
- Särnholm E & J Gode. 2007. *Abatement costs for carbon dioxide reductions in the transport sector.* IVL Svenska miljöinstitutet, rapport B1716.
- Vägverket. 2004. *Klimatstrategi för vägtransportsektorn.* Vägverket publikation 2004:102. Borlänge, Stockholm.
- Vägverket. 2006. Vinst varje mil – tunga förare kan spara miljoner på att spara bränslesnålt.
- Wallgren C. 2000. *Livsmedelstransporter i ett hållbart samhälle. En sammanställning av litteratur och pågående projekt.* Forskningsgruppen för miljöstrategiska studier, rapport nr 146.
- Wallgren C. 2006. Local or Global Food Markets: A Comparison of Energy Use for Transport. *Local Environment* **11** (2).
- Wallgren C. 2007. Personlig kommunikation. Vinnova.

Walsh M. 2006. Global Efforts to Encourage Heavy Duty Vehicle Fuel Economy Improvements, Feb. 2006:
<http://www.theicct.org/documents/MichaelWalsh-1.pdf>

Åkerman J & L Hedberg. 2005. *Decoupling av godstransporterna och den ekonomiska utvecklingen*. Totalförsvarets forskningsinstitut. Underlagsrapport FOI-R-1656-SE.

Bostäder och lokaler

Elforsk. 2005. *Tekniska åtgärder i Sverige för att undvika framtida koldioxidutsläpp från produktion och användning av energi*, Elforsk rapport 05:47

Energimyndigheten. 2005a. *Energiindikatorer 2005*

Energimyndigheten. 2005b. *Förbättrad energieffektivitet i bebyggelsen* ER 2005:27

Energimyndigheten. 2006a. *Energiindikatorer 2006*, ET 2006:31

Energimyndigheten. 2006b. *Uppvärmning i Sverige 2006*, ER 2006:31

K-konsult. 2007. Typhuskatalogen

Konsumentverket. www.energikalkylen.konsumentverket.se

NCC .2005. *Marknadens intresse för energieffektiva småhus*. www.ncc.se

SCB. 2005. SCB Energistatistik för småhus, flerbostadshus och lokaler

Industrisektorn

Blasiak W., Andersson M. Lindbland B. Ekerot S., Lukas C. 2002. *Användning av biobränslen inom stålindustrin. Slutrapport*. Department of Materials Science and Engineering. Royal Institute of Technology, SE 100 44 Stockholm.

Ekström C., Bröms G., Eidensten L., Hammarberg A., Herbert P., Kapper R., Krohn P., Larsson S., Rydberg S., Nyström O. och Olsson F. 2005. *Tekniska åtgärder i Sverige för att undvika framtida koldioxidutsläpp från produktion och användning av energi. Modellberäkningar av kostnad och potential*, Elforsk rapport 05:47, Elforsk, Stockholm.

Energimyndigheten. 2000. *Effektiv energianvändning. En analys av utvecklingen 1970-1988*, ER 22:2000. Eskilstuna.

Frisch L. . *Näringslivets drivkrafter för att minska energianvändningen*.

Henning D. 2005. *El till vad och hur mycket i svensk industri*. Linköpings universitet, optensys energianalys, Linköping.

Holmgren K. Klingspor M. Ribbenhed M. Sternhufvud C. och Thorén M. 2005. *Utredning om möjligheterna att minska utsläppen av fossil koldioxid från järn- och stålindustri*, IVL rapport B1649.

ITPS. 2004. *Basindustrin och Kyoto- Effekter på konkurrenskraft av handel med utsläppsätter*.

- IVL Svenska Miljöinstitutet. 2006. Framtida utsläpp av fluorerade gaser .
- Kindbom K. Danielsson H. 2006. Framtida utsläpp av fluorerade gaser, IVL rapport 2006-12-06.
- Klugman S., Karlsson M. och Moshfegh B. 2007. A Scandinavian chemical wood-pulp mill. Part 2. International and model mills comparison, *Applied Energy*, 84, 340-350.
- Kommissionen mot oljeberoende. 2006. På väg mot ett oljefritt Sverige. Regeringskansliet.
- Möllersten K. Yan J. och Westermarck M. 2003. Potential and cost-effectiveness of CO₂ reductions through energy measures in Swedish pulp and paper mills, *Energy*, 28, 691-710.
- Naturvårdsverket. 2005. *Bedömning av möjligheterna att minska utsläppen av fossil koldioxid från de industrisektorer som ingår i systemet för handel med utsläppsrätter*. Dnr 503-677-05 Hk.
- Pedersen P H .2007. Konsekvenser af at indføre miljøafgifter på F-gasser, rapport 24. januar 2007. Teknologisk Institutt, Danmark.
- Rhodin P och Thollander P. 2006. Barriers to and driving forces for energy efficiency in the non-energy intensive manufacturing industry in Sweden, *Energy*, 31, 1836-1844.
- Rhodin P, Thollander P och Solding P. 2006. Barriers to and driving forces for energy efficiency in the Swedish foundry industry, *Energy Policy*, 35, 1836-1844.
- Sandberg H. Lagneborg R. Lindblad B. Axelsson H. och Bentell L. 2001. CO₂ emissions of the Swedish steel industry. *Scandinavian Journal of Metallurgy*, 30, 420-425.
- Skogsstyrelsen. 2006. Skogsstatistisk årsbok.
- SMED. 2004. Uppdatering av utsläpp till luft från arbetsfordon och arbetsredskap för Sveriges internationella rapportering.
- Stripple H. Sternhufvud C. och Skårman Y. 2005. *Utrredning om möjligheterna att minska utsläppen av fossil koldioxid från mineralindustrin*, IVL
- Sundlöf C. 2002. *Energianvändning inom industrin*. En fakta rapport inom IVA-projektet Energiframsyn Sverige i Europa. Kungliga Ingenjörsvetenskapsakademien, Stockholm.
- Thollander P., Karlsson M. Söderström M, Creutz D. 2005. Reducing industrial energy costs through energy-efficiency measures in a liberalized European electricity market: case study of Swedish iron foundry, *Applied Energy*, 81, 115-126.
- Trygg L. 2006. *Swedish industrial and energy supply measures in a European System Perspective*. Doktorsavhandling, Avdelningen för energisystem, Linköpings universitet, Linköping.

Vattenfall AB. 2007. Global mapping of Greenhouse Abatement Opportunities up to 2030. Industry sector deep-dive, January, 2007.

Vattenfall Utveckling AB, Carl Bro Energikonsult. 2005. *Tekniska åtgärder i Sverige för att undvika framtida koldioxidutsläpp från produktion och användning av energi. Modellberäkningar av kostnad och potential*. Elforsk rapport 05:47.

Wetterberg C., Magnusson R., Lindgren M. och Åström S. 2007. *Utsläpp från större dieseldrivna arbetsmaskiner. Inventering, kunskapsuppbyggnad och studier av åtgärder och styrmedel*. Svensk Maskinprovning AB.

ÅF. 2006. Styrning inom industrin som inte omfattas av EUs handelssystem, ÅF-Process, Stockholm

Åhman M. 2004. *Den svenska cement- och kalkindustrin-konsekvenser av EUs system för handel med utsläppsrätter*. IMES/EESS rapport 55, Miljö- och energisystem, Lunds tekniska högskola, Lund.

Energitillförsel

Byman K. 2004. *Goda möjligheter med spillvärme – en utvärdering av LIP finansierade spillvärmeprojekt*. Naturvårdsverket rapport nr 5373.

Elforsk .2005. *Kraftvärme i framtiden*. Elforsk rapport 05:37.

Energimyndigheten .2005. Konsekvenser av en utvidgad elcertifikatmarknad – Bilagor

Energimyndigheten. 2007. Avskiljning och lagring av koldioxid, PM till Kontrollstationsarbetet.

EUROSTAT. 2007. Statistik från <http://epp.eurostat.ec.europa.eu>

IVL. 2002. *Tillämpningar av klimatmål och Kyotoprotokollet – en allmän konsekvensanalys med branscher*. IVL-rapport B1454.

IVL. 2005. *Åtgärdskostnader för minskning av koldioxidutsläpp vid svenska kraftvärme- och värmeanläggningar*. IVL rapport B1650.

Jansson B. 2005. Underlagsrapport till Naturvårdsverkets delrapport i regeringsuppdraget vad gäller tekniska möjligheter att minska utsläppen av koldioxid från de industrisektorer som ingår i handelssystemet. Bilaga 3.

PROFU .2006. Uppdrag – sammanställning om potentialer för förnybar energi . Ingår i miljömålsarbetet.

UNFCCC, National Inventory Report 2006. Tillgänglig på <http://unfccc.int/>

Avfallssektorn

Amlinger F. och Peyr S.. 2003. *Umweltrelevanz der dezentralen Kompostierung. Klimarelevante Gasemissionen, flussige Emissionen, Massenbilanz, Hygienisierungsleistung*. Kompost – Entwicklung und Beratung (i samarbete med Institut für Land, Umwelt und Energietechnik, Universität Wien).

- Björklund och Finnveden 2005., Recycling revisited – life cycle comparisons of global warming impact and total energy use of waste management strategies, FMS, KTH, Stockholm.
- Energimyndigheten. 2007. Produktion och användning av biogas 2005, ER 2007:05. Eskilstuna.
- Galatola, M. 2007., DG Research – Directorate Environment, föredrag för WMC, 13 mars 2007
- Goldstein, B. 2006. ”Miljövinsten med att minska totala avfallsmängden”. Miljökonsult B. Goldstein. Underlagsrapport till Naturvårdsverket.
- Henrysson och Goldmann. 2007. Återvunnen råvara en god affär för klimatet. Återvinningsindustrierna, Stockholm .
- Linné, M. 2007. ”När vi miljömål 15, delmål 5?” BioMil AB. Underlagsrapport till Naturvårdsverket.
- Lundeberg S. 2006a, PM - Deponiskattens effekter på användning av restprodukter för anläggningsändamål, Klimatbyrån.
- Lundeberg S. 2006b, PM - Sammansättning av industriavfall som förbränns, Klimatbyrån.
- Naturvårdsverket 2005a, *Uppföljning av producentansvaret för år 2005*, Rapport 5599.
- Naturvårdsverket. 2005b. *Strategi för hållbar avfallshantering – Sveriges Avfallsplan*. Stockholm.
- Naturvårdsverket. 2005c. *Biogasanläggningar med potential – Utvärdering av LIP-finansierade system för rötning och kompostering*, Rapport 5476, Stockholm.
- Naturvårdsverket. 2006. *Avfall i Sverige 2004*, Rapport 5593, Stockholm.
- Naturvårdsverket. 2007. In- och utförsel av avfall. Redovisning av ett regeringsuppdrag. Dnr 644-420-06 Rp.
- Profu 2006. Klimatpåverkan från Sysavs avfallshantering,
- RVF/Avfall Sverige. 1998-2006. Svensk Avfallshantering 1998-2006
- RVF 2005. ”Utvärdering av storskaliga system för kompostering och rötning av källsorterat bioavfall, bilaga 2” RVF Utveckling 2005:06
- Flodman. M. 2002. Emissioner av metan, lustgas och ammoniak vid lagring av avvattnat rötslam. Institutionsmeddelande 2002:04.. Institutionen för lantbruks-teknik, SLU, Uppsala
- SOU BRAS 2005:23, *En braskatt – beskattning av avfall som förbränns*
- UBA-FB III, 2005. Waste Sector’s Contribution to Climate Protection, Research Report 205 33 314.

Jordbrukssektorn

- Andrén O & T Kätterer .2001. Basic principles for soil carbon sequestration and calculating dynamics country-level balances including future scenarios. - In: Lal et al. *Assessment methods for soil carbon*. Lewis Publishers, pp. 495 – 511.
- Berglund Ö & K Berglund .2005. *Kartering av odlade jordar i Sverige med hjälp av digitaliserade databaser*. Institutionen för markvetenskap, SLU.
- Campos M .2007. *Konsekvensanalys: Rötning*. Institutionen för ekonomi, Sveriges Lantbruksuniversitet.
- Fogelberg F, Baky A, Salomon E & H Westlin .2007. *Energibesparing i lantbruket år 2020*. Ett projekt utfört på uppdrag av Naturvårdsverket. JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik 2007.
- FAO. (Food and agriculture organization of the united nations). 2006. *Live-stock's long shadow – environmental issues and options*.
- Helby P, Börjesson P, Hansen A C, Roos A, Rosenqvist H & L Takeuchi .2004. *Market development problems for sustainable bio-energy systems in Sweden. The BIOMARK project*. Environmental and Energy system studies, Lund University, Sweden. Report no 38.
- Jordbruksverket. 2004. 2003 år jordbrukspolitiska reform. Effekter av frikopplingen på produktion och strukturutveckling. Jordbruksverkets rapport 2004:16. Jönköping.
- Jordbruksverket. 2006a. *Konsumtionen av livsmedel och dess näringsinnehåll*. Rapport 2006:2. Jönköping.
- Jordbruksverket. 2006b. *Bioenergi ny energi för jordbruket*. Rapport 2006:1. Jönköping.
- Jordbruksverket. 2007. *Jordbrukets miljöeffekter 2020 – en framtidsstudie*. Jönköping.
- Lantz M. 2004. *Gårdsbaserad Produktion av biogas och kraftvärme- ekonomi och teknik*. Examensarbete Institutionen för teknik och samhälle, avdelningen för miljö- och energisystem, Lunds tekniska högskola.
- Lantz M., Larsson G., Hansson T. 2006. *Förutsättningar för förnybar energi i svensk växthusodling*, Rapport No. 57, Institutionen för teknik och samhälle, avdelningen för miljö- och energisystem, Lunds tekniska högskola.
- Lühti A. 2005. *Löser rötning miljöproblemen? Om hantering av stallgödsel*. Examensarbete för Naturvårdsverket. Institutionen för naturgeografi och kvartärgeologi, Stockholms Universitet.
- LRF m.fl.2002.. *Maten och Miljön Livscykelanalys av sju livsmedel*.
- Naturvårdsverket .1998. *Ärter eller fläsk? En energijämförelse från ord till bord av fläskkött och olika baljväxter*. Rapport nr 4909.
- Naturvårdsverket .2003. *Fakta om maten och miljön*. Rapport nr 5348.

Naturvårdsverket. 2006. *Utsläpp av metan och lustgas från jordbrukssektorn*. Rapport 5506, Stockholm.

Naturvårdsverket .2007. *Import av kött – Export av miljöpåverkan*. Rapport nr 5671.

NIR (Sweden's National Inventory Report). 2007. Submitted under the United nations framework Convention on Climate Change.

SOU 2007:36. *Bioenergi från jordbruket – en växande resurs*.

Bilaga 1 Antaganden för beräkningar i avsnittet om energitillförsel

Antaganden för beräkning av produktionskostnader för elproduktion. Utöver dessa faktorer påverkas produktionskostnaden av antagande om konstruktions-tid, kapacitetsfaktor, avskrivningstid och kalkylränta.

	Investeringskostnad kr/kW	Drift, underhåll, bränsle öre/kWh
Vind-land	7500-12000	12
Vind-hav	12000-18000	16
Naturgas	4000-7000	20-33
Kärnkraft	14000-20000	10
Vattenkraft	12000-24000	6
Bio-kondens	10000-16000	19-31
Kol-kondens	9000-12000	15

Antaganden för beräkning av produktionskostnader för kraftvärmeverk. Utöver dessa faktorer påverkas produktionskostnaden av antagande om konstruktions-tid, kapacitetsfaktor, avskrivningstid och kalkylränta. I beräkningen tas inte hän-syn till hur stor andel som går till el respektive värme eller hur priset förhåller sig mellan el och värme.

	Investeringskostnad kr/kW	Drift, underhåll, bränsle öre/kWh
Bio-kvv	11000-18000	14-21
Avfall-kvv	24000	-5-0
Naturgas-kvv	6000-12000	18-26
Torv-kvv	11000-18000	16-20
Kol-kvv	11000-13000	14

Antaganden för beräkning av produktionskostnader för värmeverk. Utöver dessa faktorer påverkas produktionskostnaden av antagande om konstruktionstid, kapacitetsfaktor, avskrivningstid och kalkylränta.

	Investeringskostnad kr/kW	Drift, underhåll, bränsle öre/kWh
Bio	3000	9-15
Olja	1000	11-20
Gas	1000	11-20

Bilaga 2 Kostnader för åtgärder inom gödselhantering

Källa

Redovisning baseras på data från Bilaga ur ”Täckning av flytgödselbehållare med gastäta membran” redovisad i Jordbruksverkets rapport 2004:1. Förutsättningar för minskning av växthusgasutsläppen för jordbruket.

Typ av åtgärd

Tre typer av åtgärder studerades:

- 1 Lagring av gödsel med membrantäckning
- 2 Psykofil rötning med flytande membran
- 3 Reaktorbaserad rötning med efterföljande membranlagring

I samtliga fall insamlades biogas för utnyttjande för elproduktion via en gasmotor.

Kalkyl i originalstudien

I originalstudien görs kalkyl med 7 % realränta. Den ekonomiska livslängden har satts till 5 år för gasmotor och 15 år för övriga utsläpp. Kostnader har beräknats såväl inklusive som exklusive kreditering för försåld energi (värdet på el har satts till 0,6 kr/kWh, värdet på olja till 0,32 kr/kWh).

Originaldata från studien

Tabell Hantering av flytgödsel från mjölkkor

	Alternativ 1	Alternativ 2	Alternativ 3
Kostnad CO₂ reduktion exklusive kreditering (kr/kg)	0,53	1,29 kr/kg	1,11
Kostnad CO₂ reduktion inklusive kreditering (kr/kg)	0,34	1,05	0,52
Potentiell utsläppsreduktion (kton CO₂ ekv./år)	110	160	220

Känslighetsanalys

Originaldata från studien

Tabell Hantering av flytgödsel från svin

	Alternativ 1	Alternativ 2	Alternativ 3
Kostnad CO₂ reduktion exklusive kreditering (kr/kg)	0,31	0,66 kr/kg	0,77
Kostnad CO₂ reduktion inklusive kreditering (kr/kg)	0,12	0,26	0,13
Potentiell utsläppsreduktion (kton CO₂ ekv/år)	105	145	200

Med andra ord erhålles lägre kostnader för svingödsel

Omräkning

För kontrollstationsarbetet 2004 görs en omkalkyl av beräkningarna med utgångspunkt i valda räntenivåer 4 % respektive 15 %. För elkreditering redovisas ett spann från 0,25-0,45 kr/kWh (exklusive alt inklusive distributionskostnad). För oljekreditering redovisas kostnad 0,25 öre/kWh. Beräkningar görs endast för gödsel från mjölkkor eftersom övriga detaljerade data saknas för gödsel från svin.

Tabell Hantering av flytgödsel från mjölkkor (andelen flytgödsel av all gödsel från mjölk-
kor var år 2000 ca. 33 %)

4 % ränta	Alternativ 1	Alternativ 2	Alternativ 3
<i>Kostnad CO₂ reduktion exklusive kreditering (kr/kg)</i>	0,48	0,94 kr/kg	0,98
<i>Kostnad CO₂ reduktion inklusive kreditering, elpris låg(kr/kg)</i>	0,35	0,73	0,65
<i>Kostnad CO₂ reduktion inklusive kreditering, elpris hög (kr/kg)</i>	0,35	0,64	0,55
<i>Potentiell utsläppsreduktion (kton CO₂ekv/år)</i>	110	160	220
15 % ränta			
<i>Kostnad CO₂ reduktion exklusive kreditering (kr/kg)</i>	0,67	1,38 kr/kg	1,51
<i>Kostnad CO₂ reduktion inklusive kreditering, elpris låg(kr/kg)</i>	0,54	1,18	1,19
<i>Kostnad CO₂ reduktion inklusive kreditering, elpris hög (kr/kg)</i>	0,54	1,08	1,08
<i>Potentiell utsläppsreduktion (kton CO₂ ekv/år)</i>	110	160	220

Allmän tillämpning av membrantäckning respektive rötning av flytgödsel från mjölkkor och svin

Andelen flytgödsel av all stallgödsel antas uppgå till 33 % (mjölkcor) respektive 67 % (svin) enligt statistik från 2000.

	Alt 1	Alt 2	Alt 3	Alt 4	Alt 5
CO₂ ekvivalenter kton/år – mjölkcor	265	250	142	93	33
CO₂ ekvivalenter kton/år - svin	251	231	126	84	30

I kalkylen används biogasen för el- och värmeproduktion.

Bilaga 3 Produktionsbortfall organogena jordar

I syfte att grovt precisera storleksordningen på värdet av produktionsbortfallet för förändrad användning av organogena jordar görs här en enkel överslagsberäkning av att lägga om odling av spannmål och hackgrödor till mer extensiv markanvändning. Samtliga antaganden bygger på nationella genomsnitt.

Utsläppsberäkning i Mton CO₂-ekvivalenter

Gröda	Ha	Emissions faktor	Utsläpp Mton	Ändrad markanv	Utsläppsminsk Mton
Ettåriga grödor	72	3	1,94	0,65	-1,29
Hackgrödor	4	5	0,18	0,04	-0,15
Vall	84	1	0,75	0,75	0,00
Extensiv markanv	89	1	0,80	0,80	0,00
Träd	2	1	0,02	0,02	0,00
Våtmark	1	1	0,01	0,01	0,00
Summa	252		3,70	2,26	-1,44

Egen bearbetning baserad på Berglund & Berglund 2005 och NIR 2007.

Som produktionsvärde per hektar för de ettåriga grödorna användes ett oviktat genomsnitt av produktionsvärdet per hektar:

Gröda	Produktion kg/ha ¹	Kr/kg ²	Kr/ha
Höstvete	6130	1,00	6126
Höstråg	5050	1,03	5196
Höstkorn	5210	0,93	4832
Vårkorn	4000	0,93	3710
Havre	3740	1,00	3735
Rågvete	4780	0,92	4380
Genomsnitt			4663
Avrundat	≈		4500

1) 5-års genomsnittlig produktion enligt Sveriges officiella statistik Statistiska meddelanden JO19 SM0301; åren 1999-2003.

2) Avräkningspriser per 100 kilo som ett genomsnitt för år 2006 enligt Sveriges officiella statistik Statistiska meddelanden JO19 SM0601

I beräkningen av produktionsbortfallet för ettåriga grödor används det avrundade värdet 4 500 kr/hektar och år, eftersom avkastningen på de organogena jordarna i genomsnitt är lägre än för annan jordbruksmark (Staaf 2007). I landet fanns år 2003 ettåriga grödor på drygt 70 000 hektar, om samtliga dessa tas ur produktion blir produktionsbortfallet drygt 320 Mkr/år. Samtidigt minskar kol-

dioxidavgången med 1,29 Mton, vilket ger en kostnad för produktionsbortfallet på ca. 0,25 kr/kg och år.

För hackgrödorna har ett räkneexempel på potatis använts

Gröda	Produktionkg/ha ¹	Kr/kg ²	Kr/ha
Potatis	30 810	2	61 620

1) Genomsnittlig produktion för riket år 2005 enligt Sveriges officiella statistik Statistiska meddelanden JO16 SM0601.

2) Databok för driftsplanering 1996, SLU Specialskrifter 62. Enligt SJVs bedömning är det dess priser fortfarande en fingervisning om rimlig nivå på produktionsvärdet.

I beräkningen av produktionsbortfallet för ettåriga grödor används det avrundade värdet 60 000 kr/hektar och år. I landet fanns år 2003 hackgrödor grödor på drygt 4 000 hektar, om samtliga dessa tas ur produktion blir produktionsbortfallet närmare 250 Mkr/år. Samtidigt minskar koldioxidavgången med 0,15 Mton, vilket ger en kostnad för produktionsbortfallet på ca. 1,64 kr/kg och år.

Produktionsbortfallet väntas inte påverka konsumenterna annat än marginellt eftersom det antingen kompenseras med annan nationell produktion eller ökad import av livsmedel.

Känslighetsanalys

Den största osäkerheten gäller vilken effekt den ändrade markanvändningen verkligen har på avgången av växthusgaser, är den lägre än vad som antagits ovan stiger kostnaden per kilo reducerade utsläpp proportionellt.

Bilaga 4 Energieffektivare kostvanor

Att minska den totala energianvändningen från produktgruppen livsmedel handlar t.ex. om att äta mindre av kött och ost, säsongsanpassa valet av grönsaker, att äta mindre ”exotiska” matvaror och att undvika mat som transporterats med flyg (Carlsson-Kanyama et al. 2003, Carlsson-Kanyama 1998 samt Duchin 2004). Enligt Carlsson-Kanyama et al. (2003) är det möjligt att komponera en energieffektiv diet som ger en jämlik fördelning av de globala energiresurserna, men en sådan diet är mycket olik dagens svenska matvanor. Ett konkret exempel på mer hållbara matvanor är den s.k. ”Första steget maten” (Dahlin & Lindeskog 1999). Därifrån utarbetade Konsumentverket konceptet SMART mat (Konsumentverket 2003) som bl.a. innebär följande:

- Köttkonsumtion på ca. 70 kg/person och år ersätts till en fjärdedel med baljväxter såsom linser, ärtor och bönor. Det kan krävas upp till 10 kilo spannmål för att producera 1 kilo kött, som näringsmässigt kan ersättas av protein från olika baljväxter (NV 4909)
- Minska konsumtionen av ”tomma kalorier” till hälften utan att ersätta med annan konsumtion. Nära 30 procent, eller nästan 230 kg per person och år, av livsmedelsinköpen utgörs av produkter som inte behövs ur näringssynpunkt och som därför orsakar onödig miljöpåverkan. I denna kategori finns närmare 170 kg drycker som exempelvis läsk, mineralvatten och alkohol (Carlsson-Kanyama & Engström 2003). (Konsumentverket 2003).
- Salladsgrönsaker som tomat, gurka och isbergssallad är energikrävande p.g.a. att de ofta odlas i växthus. Grövre grönsaker och rotfrukter, som kan odlas utomhus i Sverige, är både nyttigare och mindre energikrävande. Ett riktmärke för förändring är 90 procent rotfrukter och grövre grönsaker och 10 procent salladsgrönsaker. (Konsumentverket 2003).
- För att minimera transporterna är det viktigt att säsongsanpassa valet av frukt och grönt. Tillgången på många svenska produkter är begränsade till sommar och höst medan t.ex. svenska morötter och rödbetor finns året om. Dessa kompletteras under vinter och vår med fryst och importerat som odlats utomhus.

Miljöeffekterna av att förändra matvanor bör jämföras med effekterna av dagens matvanor. De effekter som kan kvantifieras med hjälp av befintliga metoder och modeller är energiförbrukning och utsläpp av växthusgaser. Enligt en opublicerad förstudie med Energy Analysis Programme (EAP) som beräknar den primära energianvändningen i en produkts livscykel (anpassad med svenska energiintensiteter), skulle kostomläggningar motsvarande SMART ge en reduktion av den totala energianvändningen för livsmedelskonsumtionen med ca. 20 procent (Engström 2006). Övergången till SMART-mat innebär en övergång till billigare mat vilket ger ca. 3 000 kr lägre matkostnader per person och år (Frykberg 2005). I en studie med EAP-modellen av ytterligare anpassning av kost-

vanorna med näringsmässigt likvärdiga alternativ, beräknas den indirekta energianvändningen för livsmedel kunna sänkas med upp till 30 procent, (Carlsson-Kanyama et al. 2004). Effekten i utsläpp av växthusgaser beror på om man räknar på "marginalel" eller på en genomsnittlig svensk energimix samt i vilken utsträckning man kan beakta att ca. 40 procent av livsmedlen är importerade (Naturvårdsverket rapport 5348). Den åtgärd som visar entydigt störst potential i EAP-modellen är att ersätta animaliskt protein med vegetabiliskt (Engström 2006).

Litteratur – Bilaga 4

Carlsson-Kanyama A., Engström R., 2003. Fakta om maten och miljön. Konsumtionstrender, miljöpåverkan och livscykelanalyser. Naturvårdsverket, Rapport 5348.

Carlsson-Kanyama A, Pipping Ekström M, Shanahan H, 2003. Food and life cycle energy inputs: consequences of diet and ways to increase efficiency. *Ecological Economics*, 44:293-307.

Carlsson-Kanyama A, Lindén A-L, 2001. Trends in food production and consumption: Swedish experiences from environmental and cultural impacts. *International journal of sustainable development*, 4(4): 392-406.

Carlsson-Kanyama A, 1998. Climate change and dietary choices – how can emissions of green house gases from food consumption be reduced? *Food Policy*, Vol 23: 277-293.

Carlsson-Kanyama A, Engström R, Kok R, 2004. Indirect and direct energy requirements of city households in Sweden – options for reduction , lessons from modelling. In Engström R, 2004. *Environmental Impacts from Swedish Food Production and Consumption*. Licentiate Thesis, KTH, Chemical Engineering and Technology.

Duchin F, 2004. Sustainable consumption of food: A framework for analysing scenarios about changes in diets. *Journal of Industrial Ecology* 9(1-2): 99 – 114.

Dahlin I, Lindeskog P, 1999. Ett första steg mot hållbara matvanor. Stockholms läns landsting, Centrum för Tillämpad Näringslära Rapport nr 23.

Engström R, 2004. *Environmental Impacts from Swedish Food Production and Consumption* KTH.

Engström R, 2006. Personlig kommunikation.

Frykberg, J. (2005), Vad kostar hållbara matvanor?, Folkhälsoinstitutet, Rapport 2005:17.

SOU 2004:119. Hållbara laster – Konsumtion för en ljusare framtid. Delbetänkande av utredningen om en handlingsplan för hållbar konsumtion för hushållen.

SOU 2005:51, Bilen, biffen och bostaden, Hållbara laster - smartare konsumtion, Slutbetänkande av utredningen om en handlingsplan för hållbar konsumtion för hushållen