

# Styrmedel inom klimatpolitiken

modellberäkningar samt problemorienterade  
beskrivningar och analyser

Böcker och rapporter utgivna av Statens  
energimyndighet kan beställas från  
Energimyndighetens förlag.  
Orderfax: 016-544 22 59  
e-post: [forlaget@stem.se](mailto:forlaget@stem.se)

© Statens energimyndighet  
Upplaga: 200 ex

ER 21:2003

ISSN 1403-1892

## Förord

Klimatpolitiska mål har formulerats på internationell nivå inom ramen för Klimatkonventionen samt i Kyotoprotokollet. Åtagandena i Kyotoprotokollet är formulerade i nationella utsläppsrestriktioner i förhållande till utsläppsnivån år 1990. I Kyotoprotokollet ges även möjlighet för länderna att använda flexibla mekanismer. Flexibla mekanismerna innebär att länderna kan tillgodoräkna sig utsläppsminskningar i ett annat land där åtgärdskostnaden är lägre. Förutom de internationella åtagandena har vissa länder även formulerat nationella utsläppsmål.

Länderna har olika strategier för att nå utsläppsåtagandena. Exempel på olika styrmedel som används idag är märkning av produkter, beskattning av koldioxidutsläpp och stöd till energieffektiv teknik. Andra styrmedel håller på att införas. I Sverige har ett system för handel med certifikat inom elsektorn nyligen startat och inom EU är ett direktiv om en handel med utsläppsrätter färdigförhandlat. Systemet ska starta den 1 januari 2005.

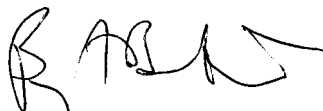
I följande rapport analyseras olika styrmedel med hjälp av MARKAL-modellen. Arbetet har utförts av Profu i Göteborg AB. Arbetets upplägg har utformats i samarbete med Energimyndigheten.

I analysen har fokus legat på handel med utsläppsrätter men även handel med elcertifikat och skatter har inkluderats. Modellberäkningarna omfattar de nordiska ländernas (exklusive Island) stationära energisystem. Koldioxidutsläppen från inrikes transporter är inkluderade enbart som prognoser för framtida utsläpp.

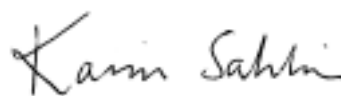
I en bilaga till rapporten beskrivs det svenska energisystemet. Utsläppen i Sverige och resten av världen visas. Med hjälp av MARKAL ges också exempel på kostnadseffektiva åtgärder i Sverige. Även beräkningar som gjorts med andra modeller och för andra länder och/eller regioner redovisas.

Profu svarar för analyser och slutsatser.

Eskilstuna i oktober 2003



Bengt Boström



Karin Sahlin



# Innehåll

<b>Sammanfattning</b>	<b>7</b>
Internationell klimatpolitik i stället för nationell .....	7
Nordisk klimatsamverkan förändrar ländernas energisystem.....	8
Global handel med utsläppsrätter påverkar Nordens utsläppsreduktion.....	9
Elcertifikat i kombination med koldioxidreduktion.....	9
EU:s förslag till handel med utsläppsrätter .....	10
Alternativa nivåer på koldioxidskatten .....	11
Naturgasens roll i det framtida svenska energisystemet .....	12
Marginalkostnader och åtgärdslista för koldioxidreduktion.....	13
<b>1. Inledning</b>	<b>15</b>
<b>2. MARKAL-modellen och viktiga indata till den nordiska databasen</b>	<b>17</b>
2.1 MARKAL – en översikt .....	17
2.2 Den nordiska databasen .....	19
<b>3. Utsläppskonsekvenser i Norden av olika styrmedelssystem</b>	<b>23</b>
3.1 Dagens skatter reducerar inte koldioxidutsläppen på effektivaste sätt .....	23
3.2 Gemensamt nordiskt system för reduktion av koldioxidutsläpp, jämfört med nationella system – beräkningar utan dagens skatter .....	29
3.3 Gemensamt nordiskt system för reduktion av koldioxidutsläpp, jämfört med nationella system – beräkningar inklusive dagens skatter .....	31
<b>4. Internationell handel med utsläppsrätter för koldioxid</b>	<b>33</b>
4.1 Inklusive dagens skatter .....	33
4.2 Exklusive dagens skatter.....	35
<b>5. Handel med utsläppsrätter i Norden och elcertifikat – vart och ett för sig och i samverkan</b>	<b>39</b>
<b>6. EU:s förslag om handel med utsläppsrätter för koldioxid</b>	<b>47</b>
<b>7. Alternativa nivåer på koldioxidskatten</b>	<b>55</b>
<b>8. Naturgasens roll i det framtida svenska energisystemet</b>	<b>59</b>
<b>9. Marginalkostnader för koldioxidreduktion i Sverige och övriga nordiska länder</b>	<b>65</b>
<b>10. Kostnadseffektiva åtgärder för reduktion av koldioxidutsläppen i Sverige</b>	<b>71</b>
<b>Bilaga Var finns det möjlighet att minska koldioxidutsläppen?</b>	<b>75</b>



# Sammanfattning

På uppdrag av Energimyndigheten har Profu analyserat konsekvenserna av olika styrmedel inom energi- och klimatpolitiken. Analyserna baseras i stor utsträckning på beräkningar med MARKAL-modellen. Ett flertal nationella och internationella styrmedel har studerats, både separat och i samverkan med varandra. MARKAL:s möjligheter att hantera såväl styrmedel som energisystemen på nationell, nordisk och internationell nivå har utnyttjats flitigt.

Syftet med uppdraget har varit att de genomförda modellberäkningarna, och kompletterande resultatanalyserna, skall utgöra ett av de underlag som bidrar till en kunskapsuppbyggnad kring styrmedel inom energi- och klimatområdet. Genomgående har kostnadseffektivitet varit ett nyckelord i analyserna.

## Internationell klimatpolitik i stället för nationell

Dagens nationella koldioxidskatter i bl.a. Sverige har, tillsammans med övriga styrmedel i de nordiska länderna, medverkat till att koldioxidutsläppen begränsats. De nationella skatterna har alltså haft god klimatpolitisk effekt. Detta till trots visar MARKAL-analyserna i detta projekt att en övergång till gemensamma internationella styrmedel, exempelvis handel med utsläppsrätter, skulle medverka till en än mer kostnadseffektiv koldioxidreduktion i Norden.

Det finns alltså ett stort värde i att genomföra utsläppsreduktionsåtaganden internationellt istället för nationellt. Orsaken är att marginalkostnaden för reduktionsåtgärderna är olika stora i olika länder. Detta har man delvis tagit hänsyn till då olika länders utsläppsmål definierats i Kyotoprotokollet och EU:s bördefördelning, men trots den differentiering som detta innebär kvarstår skillnader, och därmed möjligheter till kostnadsreduktion om åtgärderna införs där de är billigast. I MARKAL-analyserna har vi på ett systematiskt sätt studerat värdet av att gå från dagens nationella skatter, via nordiskt samarbete, till internationell handel med utsläppsrätter.

Vid ett nordiskt klimatsamarbete är vinsten av ett samarbete större än 100 miljarder SEK. Så mycket minskar kostnaden för energiförsörjningen i Norden om vi ersätter dagens koldioxid- och energiskatter med ett gemensamt nordiskt koldioxidåtagande som ger lika stor framtida koldioxidreduktion som dagens skatter skulle ge. Skälet till denna vinst är att ett gemensamt klimatsamarbete i större utsträckning än dagens skatter möjliggör ett utnyttjande av de billigaste reduktionsåtgärderna för koldioxid.

Ett gemensamt nordiskt klimatsamarbete skulle kunna realiseras genom en nordisk handel med utsläppsrätter. I Sverige har också diskuterats alternativet med

nationell utsläppsrättshandel men MARKAL visar tydligt att en nordisk marknad är kostnadseffektivare.

Ännu mera kostnadseffektiv skulle en världsmarknad för utsläppsrätter vara. Om de nordiska länderna tillåts handla på en världsmarknad kan kostnaderna för koldioxidreduktionen reduceras ytterligare. Beroende på vilket pris utsläppsrätterna får på denna marknad, kommer Norden att bli säljare eller köpare av utsläppsrätter. MARKAL-analyserna indikerar att vi blir säljare om priset överstiger 15 öre/kg CO<sub>2</sub>. Vi kommer då att göra större utsläppsreduktioner i Norden än vad våra internationella åtaganden förpliktigar oss till. Vid lägre prisnivåer blir vi istället köpare av utsläppsrätter.

## **Nordisk klimatsamverkan förändrar ländernas energisystem**

Vid ett gemensamt nordiskt klimatsamarbete blir den fossilbränslebaserade elproduktionen i kondenskraftverk lägre än i fallet med dagens skatter. Innebörden av detta är att dagens skatter ”tillåter” alltför stora utsläpp från denna sektor. Detta är lätt att förstå eftersom denna sektor idag saknar skatter. Motsatsen är hushåll och service. Detta är, tillsammans med transportsektorn, den hårdast beskattade sektorn och följaktligen görs alltför dyra anpassningsåtgärder inom denna sektor. Det vore (hur konstigt det än kan låta) optimalt med större utsläpp från denna sektor. Exempelvis vore det optimalt med mindre elvärme i Norden och större användning av exempelvis oljepannor. Därmed skulle man undvika elproduktion i kondenskraftverk.

MARKAL identifierar också kostnadseffektiva omfördelningar mellan länderna, när man övergår från en nationell till en nordisk klimatpolitik. Danmark och Finland bör minska sina utsläpp utöver sitt åtagande, medan Sverige och Norge bör stanna på högre nivåer än vad man åtagit sig och istället köpa utsläppsrätter av grannländerna (och/eller på en global marknad).

Det är för Sveriges del främst ökad kraftvärmeproduktion baserad på naturgas som skulle vara motiverad, medan man i Danmark borde minska sin användning av kol inom el- och fjärrvärmesektorn, samt minska industriutsläppen. I Norge är det främst inom sektorn hushåll och service som utsläppen skulle kunna få vara större (mindre elvärme och mer oljeeldning). I Finland slutligen, är det främst inom industrisektorn och från elproduktionen i kondenskraftverk som utsläppen borde minska mer.

I rapporten ges en utförlig beskrivning av utvecklingen av de nordiska ländernas energisystem i de olika beräkningsfallen.



## **Global handel med utsläppsrätter påverkar Nordens utsläppsreduktion**

Om de nordiska länderna tillåts agera på en global marknad för utsläppsrätter blir valet av koldioxidåtgärder i Norden, och den totala utsläppsreduktionen i varje land, beroende av världsmarknadspriset på utsläppsrätterna. Med MARKAL har vi studerat effekterna av olika världsmarknadspriser. Modellen tillåts välja mellan att genomföra verkliga åtgärder i Norden eller att anskaffa utsläppsutrymmen på världsmarknaden. Ett av de intressanta resultaten från denna analys blir hur stor del av utsläppsreduktionen som görs med åtgärder i Norden, respektive köps på en internationell utsläppsrättsmarknad.

Vi har gjort beräkningarna vid tre olika prisnivåer för utsläppsrätterna: 10, 20 och 30 öre/kg koldioxid och vid tre olika koldioxidåtaganden.

Ett mycket intressant resultat från beräkningarna är att de verkliga utsläppen av koldioxid i Norden blir helt oberoende av det utsläppsåtagande som länderna gjort, om vi samtidigt agerar på en global marknad för utsläppsrätter. De verkliga utsläppen beror endast på priset på utsläppsrätterna. Vid ett pris på 30 öre/kg koldioxid är det lönsamt för de nordiska länderna att reducera utsläppen i Norden till nivåer långt under Kyotoåtagandena. Då kan vi sälja utsläppsrätter på världsmarknaden. Vid ett pris på 10 öre/kg koldioxid får vi det omvända. Då lönar det sig förmodligen för oss att köpa utsläppsrätter, istället för att göra egna koldioxidreduktioner fullt ut. Utsläppsåtagandena avgör alltså endast om det enskilda landet kommer att köpa eller sälja utsläppsrätter på världsmarknaden, inte hur stor den verkliga utsläppsreduktionen blir i det enskilda landet.

Avgörande för om Norden blir köpare eller säljare på en världsmarknad för utsläppsrätter är också i vilken utsträckning vi (parallellt) behåller våra energi- och koldioxidskatter. Slutsatserna ovan gäller ett fall där utsläppsrättshandeln helt ersatt dagens skatter. Behåller vi istället skatterna, samtidigt som vi deltar i utsläppsrättshandeln, kommer vi uteslutande att sälja utsläppsrätter.

## **Elcertifikat i kombination med koldioxidreduktion**

Hur påverkas koldioxidutsläppen, och valet av åtgärder för koldioxidreduktion, om elcertifikat införs? I en serie MARKAL-körningar har vi jämfört nationella elcertifikatsystem i Norden med ett nordiskt system för utsläppshandel. I princip finns inget motsatsförhållande mellan de båda systemen och man kan mycket väl tänka sig att båda systemen tillämpas parallellt. Däremot kan man förutse att de båda systemen tillämpade samtidigt kan ge delvis oförutsedda effekter.

En viktig slutsats är att en stor del av de förnybara elproduktionstekniker som ingår i elcertifikatsystemen inte samtidigt är de mest kostnadseffektiva åtgärderna för koldioxidreduktion. Det finns åtgärder som till lägre kostnad kan minska koldioxidutsläppen. Vissa av de förnybara elproduktionsteknikerna är dock

kostnadseffektiva både inom certifikatsystemen och inom utsläppsrättshandeln. Exempel på sådana tekniker är småskalig vattenkraft, avfallskraftvärme, industriellt bibränslemottryck och viss bibränslekraftvärme. I rapporten ges en utförligare redovisning av teknik-/bränsle-valen i de olika fallen.

MARKAL-körningarna ger certifikatpriserna i de olika fallen. Allmänt sett kan man konstatera att certifikatpriserna blir lägre i fallen med utsläppsbegränsning (och nordisk utsläppshandel) än i fallet med dagens skatter.

MARKAL ger också priset på utsläppsrätter på en nordisk marknad. Generellt gäller då att priset blir högre ju strängare koldioxidåtagande vi antar gälla för Norden. Samtidigt visar MARKAL att om priset på utsläppsrätter stiger så sjunker certifikatpriset. Skälet är att den allt större handeln med utsläppsrätter successivt avlastar certifikatsystemet från anpassningskostnaderna.

Elpriset påverkas också. Vid en måttlig utsläppsbegränsning för koldioxid i Norden ligger elpriset långsiktigt kvar på dagens nivå, eller till och med något lägre. Anledningen till att elpriset inte stiger är att certifikatsystemet tvingar in åtgärder som hjälper till med utvecklingen av elproduktionssystemet (men belastar certifikatsystemet och inte elpriset). I takt med strängare utsläppsbegränsningar stiger dock elpriset, men det är först vid riktigt stränga begränsningar som elpriset stiger märkbart på lång sikt. Däremot sjunker elpriset i takt med att vi ökar certifikatsystemen i MARKAL-analyserna.

I rapporten görs en systematisk och illustrativ genomgång av de effekter man får om man kombinerar en utsläppsrättshandel med elcertifikat. Påverkan på skatteintäkterna redovisas också.

## **EU:s förslag till handel med utsläppsrätter**

EU-kommissionen lämnade i oktober 2001 ett förslag till ett system för handel med utsläppsrätter. Man föreslår att handelssystemet etableras inom EU för vissa sektorer med början 2005. De ”sektorer” som föreslås omfattas av systemet är kraft- och värmeproduktion över 20 MW, raffinaderier, koksugnar samt processutsläpp från ett antal industribranscher.

I en serie MARKAL-beräkningar har vi simulerat effekterna av ett sådant system för Norden. Beräkningarna har gjorts utan dagens skatter. För de sektorer som omfattas av utsläppshandelssystemet antar vi att Norden gemensamt uppfyller summan av de fyra ländernas åtagande till 2010. Under den efterföljande perioden antar vi att utsläppen reduceras med ytterligare 20 % till 2050. Utsläppen från de berörda sektorerna skulle då öka i Sverige. I Norge ligger utsläppen i huvudsak stilla, medan utsläppen i Finland och framför allt i Danmark minskar jämfört med dagsläget. Av utsläppen från sektorerna el- och fjärrvärmeproduktion i Sverige kommer i princip inget från kondensproduktion. Den mest kostnadseffektiva

anpassningen förefaller vara att kol i kondenskraftverk i Danmark och Finland ersätts med naturgaskraftvärme.

MARKAL anger att priset på utsläppsrätter stiger till omkring 15 öre per kg CO<sub>2</sub> till år 2020. Därefter fortsätter utsläppsrättspriset att stiga för att nå 50 öre per kg CO<sub>2</sub> år 2050. På kort sikt är det alltså inga anmärkningsvärda utsläppsrättspriser som krävs för att klara den förutsatta utsläppsreduktionen. Jämfört med idag är dock nivåerna höga, eftersom detta i stor utsträckning är sektorer med rejäla skattenedsättningar, eller inga skatter alls.

Liksom tidigare kan vi konstatera att det tänkta utsläppsåtagandet för Norden helt kommer att sakna betydelse för de verkliga utsläppen från de aktuella sektorerna. Åtagande påverkar endast i vilken omfattning utsläppsrätter kommer att köpas eller säljas. MARKAL visar, ungefär som i tidigare körningar, en ”brytpunkt” vid 15 öre/kg CO<sub>2</sub>. Vid utsläppsrättspriset 10 öre/kg CO<sub>2</sub> blir Norden köpare under hela perioden. I fallen med priset 20 och 30 öre/kg CO<sub>2</sub> däremot, är Norden inledningsvis säljare av utsläppsrätter och inte förrän 2025 – 2035 växlar man till att bli köpare.

MARKAL-analyserna visar den sektorsvisa utvecklingen, både för de sektorer som ingår i EU:s handelssystem och för de som ligger utanför. Dessa resultat redovisas i rapporten. Där ges också marginalkostnaden för utsläppsreduktionen i de sektorer som ligger utanför EU-systemet, samt resultaten för en beräkning där dagens skatter bibehålls.

## **Alternativa nivåer på koldioxidskatten**

Med MARKAL har vi testat en hypotes om att Norden ganska snart kommer till en gräns för meningsfulla nivåer på koldioxidskatterna om samtidigt omfattande nedsättningar och undantag tillåts inom flera sektorer av energisystemet. Det skulle till och med kunna bli så att de totala utsläppen av t.ex. koldioxid ökar till följd av höjd koldioxidskatt.

Analysen inleds med ett fall utan energi- eller koldioxidskatter. Koldioxidutsläppen ökar i detta fall snabbt i Norden. Redan när vi lägger på dagens energiskatter dämpas utsläppsökningen markant. När halv koldioxidskatt adderas sjunker utsläppen ytterligare. Dubblas sedan koldioxidskatten, upp till 1998 års nivå, blir utsläppen ännu mindre, men minskningen är mindre tydlig än vid den första koldioxidskattnivån. När koldioxidskatten ökas med ytterligare 50% blir utsläppen på riktigt lång sikt i princip oförändrade. Under de närmaste 20 åren ger dock skattehöjningen viss effekt. Ökas koldioxidskatten ytterligare, till en fördubbling jämfört med 1998 års nivå, blir utsläppen oförändrade på kort och medellång sikt. På riktigt lång sikt, från och med år 2037, blir det till och med en liten ökning av utsläppen till följd av de ökade skatterna! Därmed kan beräkningarna sägas verifiera misstanken om vad kombinationen av mycket höga koldioxidskatter och sektorer som undantas från dessa skatter kan leda till.

I beräkningarna har vi utgått från de nordiska koldioxidskatterna år 1998. I Sverige uppgick dessa 1998 till 37 öre/kg CO<sub>2</sub>. Koldioxidskatten har sedan 1998 ökat med hela 70%, från 1998 till 2002. Det betyder att koldioxidskatten i Sverige idag ligger mellan de nivåer som ges av ”CO<sub>2</sub>-skatter ökade med 50 %” och ”fördubblade CO<sub>2</sub>-skatter”. Mycket talar alltså för att vi redan ligger nära den gräns där ökade skatter slutar ha effekt på utsläppens storlek så länge som undantagsregler och nedsättningar av skatt kvarstår.

## **Naturgasens roll i det framtida svenska energisystemet**

MARKAL-analyserna visar, vilket beskrivits ovan, att naturgasanvändningen i Sverige skulle öka om en handel med utsläppsätter ersätter dagens koldioxidskatter. Naturgasens konkurrenskraft är dock avhängigt priset på gasen. I de allra flesta beräkningarna har vi antagit ett importpris på naturgas på 70 kr/MWh. Utöver importpriset tillkommer dessutom kostnader för transmission och distribution innan gasen når slutanvändaren. Antar man istället ett importpris för naturgas på 130 kr/MWh blir effekten att gasen efterfrågas i mycket mindre omfattning.

En frågeställning som ibland dyker upp är kopplingen mellan gasens attraktivitet i Norden vid nationella utsläppsåtaganden kontra gemensamma utsläppsåtaganden (t.ex. via utsläppshandel). För svensk del kan man konstatera att ett strängt nationellt utsläppsåtagande begränsar våra möjligheter att utnyttja stora mängder naturgas. Orsaken är att vi redan har mycket små utsläpp av koldioxid i Sverige. Detta medför att det blir svårt att introducera ytterligare fossila bränslen, även om de skulle kunna bidra till att minska de globala utsläppen (t.ex. genom att svensk kraftvärme ersätter dansk kolkondens). Man kan formulera det ungefär så här: alltför stor fokusering på att minimera utsläppen inom landet kan försvåra kostnadseffektiv begränsning av globala utsläpp.

Det är dock inte självklart att nationella åtaganden minskar möjligheterna att utnyttja naturgas. För vissa andra länder, t.ex. Danmark, kan man iaktta det motsatta, d.v.s. användningen av naturgas blir större i fallet med nationella åtaganden än i fallet med gemensamt åtagande. Anledningen är att ett land som har ett jämförelsevis stort utsläppsutrymme kan använda naturgas för att fasa ut kol från kraftproduktion. I ett fall med gemensamt åtagande ökar trycket på att minska utsläppen ytterligare. Då kan delar av naturgasen ersättas med förnybara energislag. Det är alltså inget ”universellt” resultat att utsläppshandel krävs för att naturgas skall få en kraftigt ökad roll i energiförsörjningen. För Sverige finns dock denna tendens.

Elproduktionen i Sverige blir klart större i fallet då naturgas tillåts öka. Elproduktionen blir ca 7 TWh större, både på kort och på lång sikt. Tillgången till naturgas gör det alltså attraktivt att förlägga mer elproduktion i Sverige.

## **Marginalkostnader och åtgärdslista för koldioxidreduktion**

Avslutningsvis ges i rapporten en detaljerad redovisning av marginalkostnaden för koldioxidreduktion samt en utförlig genomgång av de mest kostnadseffektiva koldioxidåtgärderna i Sverige.



# 1. Inledning

På uppdrag av Energimyndigheten (STEM) deltar Profu i ett projekt för att öka kunskapsnivån när det gäller olika styrmedel inom energi- och klimatpolitiken och vilka konsekvenser dessa kan ge på energisystemets utveckling, kostnaderna för energiförsörjningen och utsläppen av koldioxid. I stor utsträckning har MARKAL-modellen utnyttjats, men vi har också deltagit i principiella diskussioner och gjort kompletterande analyser.

Inriktningen och omfattningen av projektet har formulerats i detalj under arbetets gång. I denna rapport redovisar vi resultaten från de genomförda beräkningarna. Beräkningarna fokuserar på följande frågeställningar:

- ▶ Hur utvecklas utsläppen av koldioxid sektor för sektor i Norden då olika typer av styrmedel utnyttjas? Tre jämförelser har gjorts:
  - ett fall med dagens skatter jämfört med ett fall utan skatter men med en nordisk ”utsläppsbubbla” för koldioxid
  - ett fall med nationella ”utsläppsbubblor” jämfört med ett fall med en nordisk ”utsläppsbubbla”, båda utan dagens skatter
  - ett fall med nationella ”utsläppsbubblor” jämfört med ett fall med en nordisk ”utsläppsbubbla”, båda med dagens skatter
- ▶ Hur utvecklas de nordiska utsläppen av koldioxid i ett fall då de nordiska länderna tillåts handla utsläppsrätter med resten av Europa? I beräkningarna identifieras hur stor del av utsläppsreduktionen som görs med åtgärder i Norden, respektive köps på en internationell utsläppsrättsmarknad. Beräkningarna har gjorts både med dagens skatter och utan dagens skatter.
- ▶ Beräkning av nationella elcertifikatsystem i de nordiska länderna. Beräkningarna har gjorts både för ett fall med dagens skatter och ett fall med en nordisk ”utsläppsbubbla” för koldioxid.
- ▶ Analys av en nordisk ”bubbla” för koldioxidutsläpp omfattande sektorer enligt EU:s förslag. Beräkningarna har gjorts med och utan skatter inom ”bubblan”. Utanför bubblan tillämpas dagens skatter, alternativt dagens skatter plus en ”utsläppsbubbla” över dessa sektorer.
- ▶ Beräkning av effekten av gradvis höjda koldioxidskatter, med bibehållande av dagens nedsättningsregler för vissa sektorer för att kontrollera hypotesen om avtagande effekt på utsläppen av allt högre skattenivåer.
- ▶ Värdering av naturgasens roll i det framtida svenska energisystemet. Eftersom vissa beräkningsfall ger stor introduktion av naturgas har en känslighetsanalys med avseende på naturgaspris genomförts. Dessutom analyseras naturgasens roll vid olika genomförda beräkningsfall.
- ▶ Hur utvecklar sig marginalkostnaden för koldioxidreduktion i de nordiska länderna över tiden? Analysen har gjorts utan dagens skatter och visar därmed de verkliga skillnaderna i marginalkostnad (orsakade av nationella förutsättningar) för att klara olika utsläppsreduktioner.

- ▶ Identifiering av kostnadseffektiva åtgärder för att möta olika stränga begränsningar av de svenska koldioxidutsläppen.

Till stor del är de studerade ämnena en konsekvens av frågor som genererats av förgående analyser. Totalt sett kan man i efterhand konstatera att de genomförda analyserna och studerade frågeställningarna väl täcker det ämnesområde som projektet fokuserat på, nämligen koldioxidrelaterade styrmedel i vid mening.

En mängd styrmedel har analyserats, både separat och i samverkan med andra. (Exempel på styrmedel är dagens skatter, andra skattenivåer, handel med utsläppsrätter med olika omfattning och elcertifikat.) Eftersom det i många frågeställningar finns en internationell dimension har vi utnyttjat en befintlig MARKAL-databas för Norden. Därmed ingår det nordiska perspektivet i många frågeställningar och analyser. Styrmedelkonsekvenser land för land och sektor för sektor har analyserats ur många synvinklar. I samtliga fall har utsläppen av koldioxid varit ett av huvudresultaten. Andra resultat från beräkningarna som lyfts fram och analyserats är energisystemets utveckling land för land, export/import av el, naturgasanvändning, marginalkostnad för koldioxidbegränsning, certifikatpriser och olika energislags roll (särskilt förnybar energi). Genomgående har kostnadseffektivitet varit ett nyckelord i samband med analysen.

Tanken är att de genomförda modellberäkningarna, och kompletterande resultatanalyserna, skall utgöra ett av de underlag som bidrar till den eftersträvade kunskapsuppbyggnaden kring styrmedel inom energi- och klimatområdet. Vi är fullt medvetna om både de förtjänster och begränsningar som de genomförda modellberäkningarna har. Det är alltså viktigt att resultaten kompletteras med andra analyser och bedömningar för att erhålla maximal nytta av resultaten och för att kunna dra de rätta slutsatserna. Detta har gjorts parallellt, inom ramen för ”styrmedelsprojektet”.

Efter denna kortfattade introduktion, samt en kort genomgång av MARKAL-modellen och viktiga beräkningsförutsättningar presenterar vi i följande avsnitt de olika beräkningarna och jämförelserna ”frågeställning för frågeställning”.



## 2. MARKAL-modellen och viktiga indata till den nordiska databasen

I detta avsnitt gör vi en kortfattad redovisning av MARKAL-modellen samt en översiktlig genomgång av viktiga beräkningsförutsättningar.

### 2.1 MARKAL – en översikt

MARKAL (MARKet ALlocation) togs fram i början av 80-talet i ett samarbete mellan Brookhaven National Laboratory i USA och Kernforschungszentrum Jülich i Tyskland. Den ursprungliga modellformuleringen är beskriven av Fishbone et al och Fishbone and Abilock<sup>1</sup>. MARKAL-modellen har nått en unik spridning över hela världen varför en stor samlad erfarenhet av MARKAL-användning finns tillgänglig. Modellen bygger på linjärprogrammering, d.v.s. en matematisk algoritm för att lösa optimeringsproblem där målfunktion (den som ska optimeras) och randvillkor är uttryckta som linjära ekvationer. Målfunktionen är generellt den totala systemkostnaden och skall minimeras. En alternativ målfunktion kan exempelvis vara emissioner. Randvillkor kan exempelvis utgöras av verkningsgrader för en viss typ av anläggning, miljökrav, kraftöverföringsförbindelser mellan länder, energianvändning i en viss sektor mm. Energisystemet i modellen beskrivs utifrån referensenergikonceptet (RES)<sup>2</sup>. Detta illustrerar energiflödena från utvinning av bränslen och råvaror via omvandling för kraft- och fjärrvärmegenerering till slutlig användning av bränslen, el och fjärrvärme i en rad olika sektorer, exempelvis hushåll och industrier. Lösningen på en modellkörning är med andra ord den kombination av tekniker som från bränsleutvinning eller –import, via omvandling till exempelvis el och fjärrvärme, till slutlig användning ger den lägsta kostnaden.

Teknikerna i modellen beskrivs med investeringskostnader, kostnader för drift och underhåll, livslängd, verkningsgrad och tillgänglighet. Det som så att säga driver hela modellen är behovet av energi i olika sektorer. Detta energibehov kan uttryckas som antingen ett behov av nyttig energi eller ett behov av slutlig energi. Nyttig energi definieras som själva energitjänsten, exempelvis 20°C inomhus. I

---

<sup>1</sup> Fishbone L G, Giesen G, Goldstein G, Hymnen H A, Stocks K J, Vos H, Wilde D, Zölcher R, Balzer C and Abilock H (1983), "User's Guide for MARKAL (BNL/KFA Version 2.0), Report BNL-51701, Department of Applied Science, Brookhaven National Laboratory, Upton, NY

Fishbone L G and Abilock H (1981), "MARKAL – A Linear Programming Model for Energy System Analysis : Technical Description of the BNL Version", *International Journal of Energy Research* 5, 353-375

<sup>2</sup> Marcuse W, Bodin L, Cherniavsky E and Sanborn Y (1976), "A Dynamic Time Dependent Model for the Analysis of Alternate Energy Policies", K B Haley (Ed.), *Operational Research* '75, 647-667, North Holland Publishing Company, Amsterdam

modellen är emellertid dessa 20°C uttryckta som en energimängd, ex MWh, baserade på uppgifter om effektbehovet i W/m<sup>2</sup> för att erhålla just 20°C. En inomhustemperatur på 20°C kan åstadkommas med en oljepanna, elvärme eller en kombination av energitillförsel och energibesparing. I det sistnämnda fallet minskar därmed den slutliga energin till följd av besparingen. Den slutliga energin definieras därmed som den faktiska användningen av energibärare. I modellen är exempelvis behovet av hushållsel snarare uttryckt som ett slutligt energibehovet eftersom det inte är lika meningsfullt att tala om nyttig energi i detta fall. I MARKAL finns en lastkurva för el och fjärrvärme som beskriver den årliga variationen. Elanvändningen är därvidlag uppdelad i sex årliga tidssteg medan fjärrvärmeanvändningen representeras av tre.

Modellen är dynamisk i den bemärkelsen att upp till nio individuella men av varandra beroende tidssteg (exempelvis år) kan beskrivas. Generellt är tidshorisonten 20-50 år in i framtiden. Själva beskrivningen av det valda energisystemet finns i modell databasen.

Under senare år har den ursprungliga modellformuleringen kompletterats för att hantera specifika frågeställningar. Som exempel kan nämnas:

- **MARKAL-MACRO**  
Denna version inkluderar en makroekonomisk modell varvid energisystemet kopplas till resten av makroekonomin. Därigenom kan samspelet mellan de tre produktionsfaktorerna arbete, kapital och resursutnyttjande (energi) studeras.
- **MARKAL-ED/MICRO**  
Denna version efterliknar en partiell jämviktsmodell, d v s energibehovet kan reduceras som respons på stigande energipriser utan att investeringar i exempelvis besparingar måste till. Ett exempel på detta är att sänka inomhustemperaturen från 20° C till 19° C. Därmed minskar dock det sociala välförhållandet om den individuella nyttan är högre vid 20° C och allt annat är oförändrat.
- **MARKAL-ETL**  
Denna version inkluderar endogent tekniskt lärande. Detta innebär att för att nå de relativt sett lägre investeringskostnaderna för exempelvis vindkraft som förutspås, så måste man bygga ut kapaciteten för att genom lärande nå en kostnadseffektivare teknikstatus.
- **MARKAL-Stochastic**  
Den traditionella MARKAL-formuleringen innebär perfekt kunskap om framtiden, d.v.s. modellen ”ser” hela tiden vad som kommer att hända, t.ex. hur bränslepriserna utvecklas. För att bättre beskriva verkligheten finns dock möjligheten att planera under osäkerhet d v s modellen får fullständig information om framtiden först vid ett givet år i framtiden då osäkerheten löses upp. Fram till dess sker optimeringen under beaktande att flera framtida utfall rörande exempelvis bränslepriser kan ske.
- **MARKAL-MATTER**

Denna version innehåller en större flexibilitet då även materialflöden önskas ingå i modelleringen. Man kan därigenom koppla materialanvändning till energianvändning och erhålla en mer optimal fördelning mellan exempelvis träprodukter och betongprodukter inom byggsektorn

I denna studie har dock endast den traditionella modellformuleringen använts, d.v.s. ingen av de ovanstående optionerna har utnyttjats.

## 2.2 Den nordiska databasen

Indata till den nordiska databasen, MARKAL-NORDIC, har sammanställts i samarbete med IFE (Institut for Energiteknik i Kjeller, Norge), Risø i Danmark samt VTT i Finland. Databasen omfattar en beskrivning av de fyra nordiska ländernas (exklusive Island) stationära energisystem. Koldioxidutsläppen från inrikes transporter är inkluderade som enbart prognoser på framtida utsläpp och transporterna har med andra ord utelämnats i själva optimeringen. Den totala utsläppsbilden i ett land blir med denna metod mer fullständig än om de exogena antagandena rörande transportsektorns utsläpp utelämnats.

Den stationära energisektorn i modellen omfattar import av fossila energibärare såsom kol, tung och lätt eldningsolja samt naturgas. En förenklad beskrivning av den norska off-shoresektorn är inkluderad. Importpriserna för de fossila energibärarna bestäms exogent vilket även gäller för kärnbränsle. För biobränslen gäller att varje land har en inhemsk utbudskurva med bränslekostnad och tillhörande potential i TWh. I vissa fall kompletteras denna beskrivning med en internationell biobränslemarknad där samtliga länder får tillgång till i princip obegränsade mängder till ett visst pris, exempelvis 130 SEK/MWh. I tabell 1 visas de huvudsakliga bränsleprisantaganden som använts under denna studie. Priserna är angivna vid systemgränsen, d.v.s. diverse påslag tillkommer beroende på användarkategori.

*Tabell 1: Bränsleprisantaganden vid systemgränsen i SEK/MWh. Biobränslen är indelade i olika kostnadsklasser inom nedanstående spann.*

Lätt eldningsolja	Tung eldningsolja	Kol	Naturgas	Biobränslen	Torv
100	70	45	70	20-200	100 (Sve) 75 (Fin)

I några av modellberäkningarna har även prisantagandet 130 SEK/MWh använts för naturgas i Norden. I beräkningarna med elcertifikat, avsnitt 5, har vi antagit ett naturgaspris på 90 SEK/MWh i Sverige (70 SEK/MWh i resten av Norden).

Kärnkraften, såväl i Sverige som i Finland, har en förmodad livslängd på ca 40 år. För att nå dit måste dock en större reinvestering göras efter 25 års drifttid i samma storleksordning som utfördes i verkligheten vid Oskarshamn 1. Ingen ny kapacitet får uppföras i Sverige. I Finland däremot, tillåts en samlad kapacitet motsvarande dagens plus en ny reaktor på ca 1500 MW även på lång sikt i framtiden. I Danmark och Norge saknas möjligheten att uppföra nya reaktorer i modellen. Ny vattenkraft kan byggas i Norge motsvarande omkring 20 TWh. I Finland och Sverige tillsammans uppgår motsvarande potential till omkring 4 TWh. Gasbaserad elproduktion, existerande såväl som ny, är enbart begränsad av elbehov och transmissionskapacitet för naturgas.

Generellt har körningarna gjorts inklusive möjlighet till utbyggnad av en transnordisk gasledning, d.v.s. gastillförseln i exempelvis Sverige kan bli avsevärt högre än idag. Detta fordrar investeringar i transmission och distribution. Kapaciteten byggs ut i steg om energiflöden d.v.s. MWh eller TWh per år. Därmed saknas en årlig lastkurva för naturgas. Potentialen för gaskraft längs med den norska västkusten antas dock vara oberoende av en transnordisk gasledning. Kol- och oljebaserad kraft har inga andra begränsningar än elbehov och/eller fjärrvärmeunderlag. I modellen har vindkraft en övre samlad nordisk potential på omkring 50 TWh. Även solceller och bränsleceller finns inkluderat. Dessa har en potential i varje land på i storleksordningen 5 TWh år 2050. De kostnadsantaganden som gjorts i denna studie medger dock ingen signifikant penetration av dessa tekniker. Koldioxidavskiljning finns med som en option begränsad till storskaliga gas- och kolkondensanläggningar. Koldioxidavskiljning i modellen kostar ca 50 öre/kg CO<sub>2</sub> för naturgaskombianläggningar, 40 öre/kg CO<sub>2</sub> för kolpulver- och fluidbäddanläggningar samt omkring 25 öre/kg CO<sub>2</sub> för koledade IGCC<sup>3</sup>-anläggningar. Detta inkluderar en 90-procentig verkningsgrad för avskiljningen samt transmissions- och deponeringskostnader för den avskiljda koldioxiden. Dessa data har hämtats ur IPCC Second Assessment Report från 1996.

Tabell 2 visar några få exempel på investerings- och driftkostnader för vissa kraft- och fjärrvärmegenererande anläggningar. Sammanlagt finns i den nordiska databasen över 200 sådana tekniker.

Kraftsystemen i de fyra länderna är sammankopplade genom de existerande överföringskapaciteterna. Förutom en importmöjlighet från Ryssland till Finland finns i modellen inga andra förbindelser med andra utomnordiska länder.

Efterfrågesidan i modelldatabasen omfattar drygt 70 olika sektorer, exempelvis hushållsel i Sverige och slutanvändning av bränslen inom den finska kemiindustrin. Efterfrågan på uppvärmning kan exempelvis tillgodoses med el, olja, pellets eller fjärrvärme. Som diskuterades tidigare kan den slutliga energianvändningen minskas genom investeringar i besparingsåtgärder. Den

---

<sup>3</sup> Internal Gasification Combined Cycle

nyttiga energianvändningen är dock densamma (men ändras naturligtvis över tiden i förhållande till prognostiserat behov).

Av alla de miljöeffekter som uppstår i samband med energitillförsel och energianvändning är det enbart koldioxidemissioner som analyseras i den nordiska MARKAL-modellen.

*Tabell 2: Investeringskostnader och D&U-kostnader för några kraft- och fjärrvärmegenererande anläggningar. Investeringskostnaden är uttryckt i SEK/kW el för kondens- och KVV (kraftvärmeverk) och i SEK/kW värme för HVP (hetvattenpannor). Motsvarande fördelning mellan enheter värme och el gäller för D&U-kostnader. Observera att bränslekostnader inte ingår i tabellen. I de fall då siffrorna innehåller ett intervall innebär detta att teknikutveckling driver ner kostnaderna under modellens tidshorisont. Tabellvärdena är inte helt jämförbara med varandra eftersom utnyttjning, anläggningsstorlek, alfavärden samt verkningsgrader tillkommer för att göra bilden fullständig. Kostnaderna är uttryckta i 2000 års penningvärde.*

	<b>Investeringskostnad (SEK/kW )</b>	<b>Rörlig D&amp;U-kostnad (SEK/MWh)</b>	<b>Fast D&amp;U-kostnad (SEK/kW)</b>
<b>Kolkondens (pulver)</b>	9330	35	170
<b>Kolkondens (IGCC)</b>	13200 → 12000	35	330 → 300
<b>Gaskombikondens</b>	5840 → 5000	15	40 → 35
<b>Kärnkraft (Fin)</b>	18000	16	360
<b>Bio KVV (stor och konventionell)</b>	11000	45	220
<b>Bio KVV (IGCC)</b>	17000 → 14000	40	410 → 330
<b>Gaskombi KVV</b>	7000 → 6000	20	70
<b>Vind land (Sve)</b>	8800 → 5500	0	175 → 110
<b>Vind hav (Sve)</b>	13000 → 7300	0	260 → 145
<b>Solceller</b>	32000 → 8500	0	320 → 85
<b>Olja/gas HVP</b>	1500	15	22
<b>Bio HVP</b>	3000	25	140

Två versioner av modelldatabasen har använts under denna studie. Den första, som har en tidshorisont fram till 2050, överensstämmer med det som hittills beskrivits. Den andra är en specialversion där hela efterfrågesektorn tagits bort och ersatts med exogena prognoser på el- och fjärrvärmeförbrukning enbart. All annan slutlig energianvändning, exempelvis oljepannor i villor, har tagits bort. Denna version är m a o en strikt tillförselmodell av el och fjärrvärme. I gengäld har tillförselsidan kompletterats med fler tekniker och större flexibilitet såsom separata bränsleval för el- och fjärrvärmeproduktion i samma kraftvärmeanläggning. Vissa kostnadsdata och prestanda har i denna modellversion reviderats något jämfört med den första versionen. Dessutom är tidshorisonten nedskalad till 2023. Därmed ökar upplösningen på kort och medellång sikt

eftersom antalet tidssteg är detsamma som i den första versionen av modellen. Den senare versionen har använts i alla de sammanhang där gröna certifikat figurerar på något sätt. En diskonteringsränta på 5 % används i bägge versionerna.

### **3. Utsläppskonsekvenser i Norden av olika styrmedelssystem**

Dagens styrmedel inom energiområdet har många olika mål. De skall ge intäkter till staten, stimulera användningen av förnybar energi, begränsa utsläppen av olika ämnen, främst koldioxid, ge incitament för energieffektiviseringar och dämpa efterfrågan på energi. Samtidigt måste de ta hänsyn till att vissa sektorer är utsatta för internationell konkurrens, och därmed måste ha rimliga villkor för att inte slås ut.

Skatterna har alltså inte det helt övergripande målet att minska utsläppen av koldioxid. Trots detta kan det vara intressant att se på hur man på effektivaste sätt kan nå den utsläppsnivå som dagens skatter på sikt skulle resulterat i. Genom modellberäkningar med MARKAL har vi analyserat detta.

#### **3.1 Dagens skatter reducerar inte koldioxidutsläppen på effektivaste sätt**

Vi har gjort beräkningar av tidsperioden från 1995 till 2050 för två fall. Först har vi beräknat energisystemets<sup>4</sup> utveckling i de nordiska länderna med dagens skatter<sup>5</sup> och avläst de resulterande utsläppen av koldioxid. Därefter har vi gjort motsvarande beräkningar utan skatter, men med en nordisk ”bubbla” som begränsar koldioxidutsläppen till just den nivå som dagens skatter totalt sett gav i den föregående beräkningen. Utsläppsbubblan ger den mest kostnadseffektiva anpassningen av energisystemet för att klara utsläppsmålet.

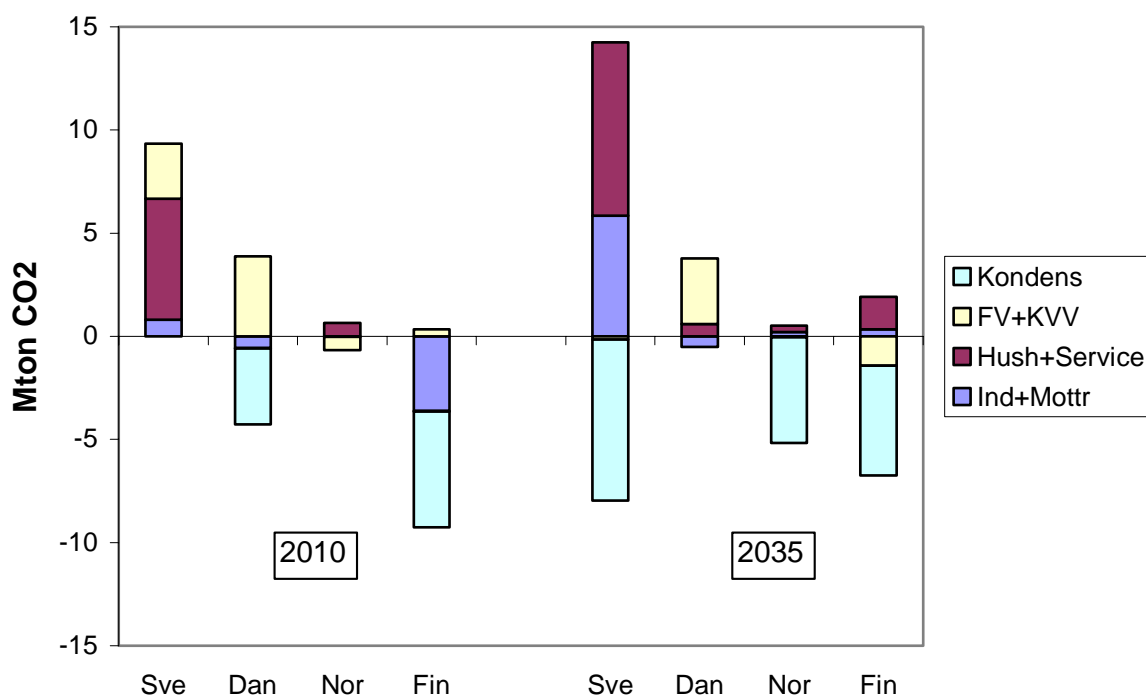
I samband med resultatgenomgången för detta beräkningsfall gör vi en mycket omfattande redovisning av vad som händer i energisystemet. Detta gör vi för att förmedla en känsla för vad som döljer sig bakom de totalbilder som redovisas för majoriteten av beräkningsfallen. Med så många beräkningsfall som denna rapport omfattar blir det dock praktiskt sett omöjligt att göra en lika fullständig redovisning i samband med alla resultatredovisningar.

Figuren visar skillnaderna i koldioxidutsläpp sektor för sektor och land för land om en nordisk utsläppsbubbla tillämpas istället för dagens skatter. Resultaten redovisas för två representativa år: 2010 och 2035.

---

<sup>4</sup> I dessa beräkningar behandlar vi ”det stationära energisystemet”. Transportsektorn ingår alltså inte.

<sup>5</sup> ”Dagens skatter” innehåller också vissa stöd till förnybar elproduktion. I fallen utan dagens skatter tar vi också bort dessa stöd. ”Dagens skatter” avser egentligen skatterna 1998.



Figur 1: Skillnad i koldioxidutsläpp sektor för sektor och land för land vid en nordisk utsläppsbubbla istället för dagens skatter

Allmänt sett ser man att utsläppen från sektorn kondens, d.v.s. elproduktion i kondenskraftverk är klart mindre i fallet med utsläppsbubblan. Innebörden av detta är att dagens skatter "tillåter" alltför stora utsläpp från denna sektor. Detta är lätt att förstå eftersom denna sektor idag saknar skatter. Motsatsen är hushåll och service. Detta är den hårdast beskattade sektorn och följaktligen görs alltför dyra anpassningsåtgärder inom denna sektor. Det vore (hur konstigt det än kan låta) optimalt med större utsläpp från denna sektor. Exempelvis vore det optimalt med mindre elvärme i Norden och större användning av fossila bränslen. Därmed skulle man undvika elproduktion i kondenskraftverk.

På kort sikt är det i Sverige inga sektorer som har för små utsläpp. Vi har ju ingen kondenssektor som kan minska sina utsläpp. I Danmark och i Finland vore det optimalt med mindre utsläpp från industrisektorn (förutom kondenssektorn). Det är också begripligt eftersom industrisektorerna normalt har skattenedsättningar som gör att de "kommer för lindrigt undan". I Sverige och i Danmark skulle det vara optimalt med mer användning av fossila bränslen i fjärrvärmeproduktionen (inklusive elproduktion i kraftvärmeverk). Detta skulle kunna ske i naturgaseldade kraftvärmeverk som skulle minska behovet av kondensproduktion.

Totalt sett framgår att det på kort sikt framför allt är i Sverige som utsläppen skulle kunna vara större, och att det främst är i Finland som det vore optimalt att göra större ansträngningar för att minska utsläppen.

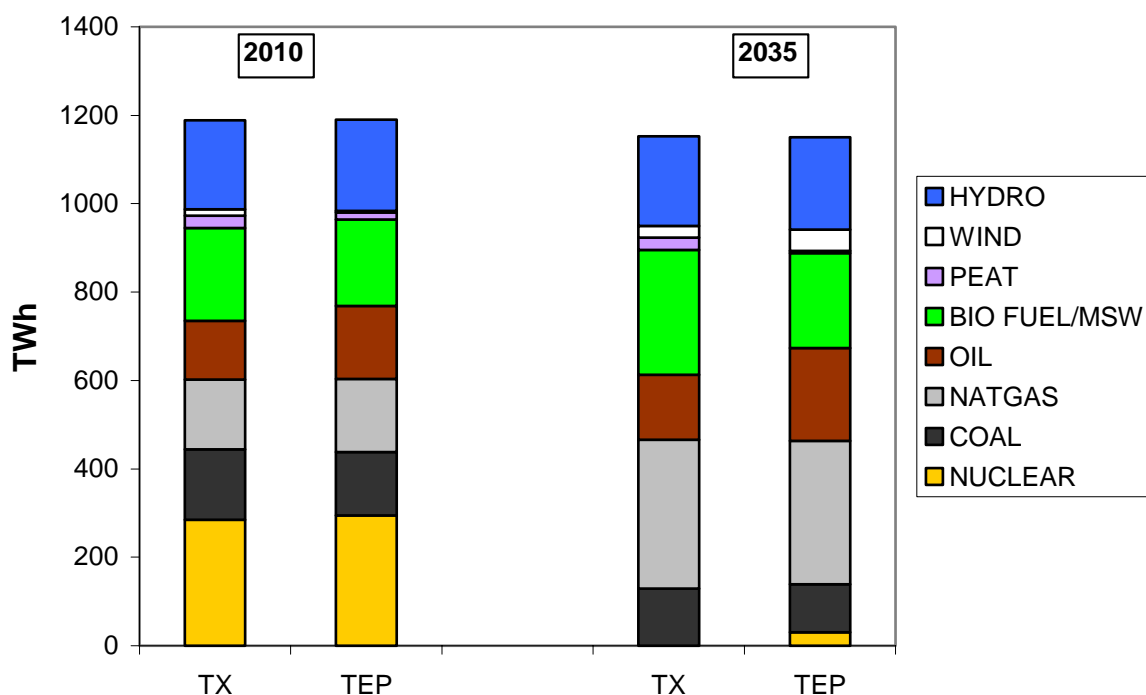


På lång sikt är resultaten likartade. Det finns dock vissa skillnader som man kan notera. Ett resultat är att Sverige inte borde öka utsläppen av koldioxid inom fjärrvärmeproduktionen (inkl. el i kraftvärmedrift). Detta kan uppfattas som förvånande eftersom vi i andra sammanhang argumenterat för att Sverige borde utnyttja kraftvärmeförutsättningarna bättre, också genom utnyttjande av fossila bränslen. Förklaringen är dock att den relativt stora torvanvändningen, främst för hetvattenproduktion, som dagens skatter leder till ersätts med ungefär dubbelt så mycket naturgas, främst för kraftvärme.

På lång sikt är det främst i Sverige och Danmark som utsläppen skulle kunna vara större. I Danmark är det inom fjärrvärmesektorn som större användning av naturgas är lämplig. Det är då främst genom större kraftvärmeproduktion, för ersättning av kondensproduktion i andra länder. Figur 2 visar totalt tillförd energi i Norden i de båda beräkningsfallen.

På kort sikt ger fallet med en gemensam nordisk utsläppsbulle något mindre kol- och torvanvändning samt, paradoxalt nog, mindre användning av biobränslen och vindkraft än i fallet med dagens skatter. Däremot ökar användningen av olja. Huvudförklaringen till detta är att elvärme byts mot oljeeldning.

På lång sikt leder bytet från dagens skatter till en nordisk utsläppsbulle till minskad användning av kol, torv och biobränslen. Samtidigt ökar användningen av kärnkraft (ökning i Finland jämfört med det andra beräkningsfallet, inte jämfört med idag), naturgas och vindkraft. Naturgasen konkurrerar delvis ut biobränslen för fjärrvärme- och elproduktion i kraftvärmeverk.



Figur 2: Totalt tillförd energi i Norden vid dagens skatter, TX, respektive vid nordisk utsläppsbubbla, TEP

Övergången från dagens skatter till en utsläppsbubbla för koldioxid leder som tidigare diskuterats till att utsläppsreduktionsåtgärderna med lägst kostnad utnyttjas. Därmed får man ett mer kostnadseffektivt system. Kostnaden för energiförsörjningen, räknat som ett nuvärde, minskar med 100 miljarder kronor. Att beloppet inte blir ännu större kan förklaras med att vi gradvis fasat ut skatterna som är helt borta först år 2009 i det fall då en gemensam nordisk utsläppsbubbla införs.

En principiellt viktig förutsättning som sammanhänger med hur vi definierat scenarierna är att även scenariot med utsläppsbubblan under mycket lång tid präglas av det energisystem som utvecklats till följd av dagens skatter. Eftersom livslängden för många av energiomvandlingsalternativen är mycket lång dröjer det minst 25 år innan man kan säga att "arvet" från dagens skatter försvunnit. Även detta präglar nuvärdet av kostnadsskillnaden mellan scenarierna.

Samtidigt som kostnaden för energiförsörjningen minskar med 100 miljarder kronor får man ett skattebortfall på 600 miljarder kronor. Detta inkomstbortfall för staten måste därmed täckas med andra intäkter.

### 3.1.1 Detaljerad energisystemredovisning

I Sverige ökar på kort sikt (2009) naturgaskraftvärme kraftigt (nästan 10 TWh mer i fallet med en nordisk utsläppsbubbla än i fallet med dagens skatter). Detta förklarar skillnaden i kraftvärmeproduktion år 2009 (drygt 10 TWh). År 2037 är skillnaden mindre, drygt 5 TWh el. Sverige kan därmed nettoexportera mer el i fallet med en nordisk utsläppsbubbla eftersom fjärrvärmeunderlaget utnyttjas mer för elproduktion, samt att en del olja ersätter el för uppvärmning i Sverige (mer om detta längre ner). Naturgasanvändning flyttas från ”kondenssektorn” (i fallet med dagens skatter efter 2030) till fjärrvärmesektorn (både kraftvärme- och hetvattenproduktion). Ökningen av naturgasanvändningen i fjärrvärmesektorn uppvägs delvis av en minskning av torvanvändningen i samma sektor. Därför är denna sektor ingen stor köpare<sup>6</sup> av utsläppsrätter i Sverige. Oljeanvändningen ökar kraftigt i fallet med utsläppsbubblan, jämfört med fallet med dagens skatter (ca 50 TWh mer). Det mesta används för uppvärmning inom sektorn bostäder och & service, vilket indikerar att denna sektor är kraftigt ”överbeskattade” jämfört med andra sektorer i Norden. Även industrins användning av fossila bränslen ökar. Därför är dessa sektorer markanta nettoköpare av utsläppsrätter. Utsläppen i Sverige ökar. Kondensproduktionssektorn är nettosäljare, men inte förrän sent (efter 2030) eftersom det inte finns något större behov av fossilbränslebaserad kondensproduktion förrän då. Denna kondensproduktion baseras i princip uteslutande på naturgas (”låga” gaspriser och ny transmissionskapacitet förutsätts).

I Danmark är den dominerande mekanismen på kort sikt att kolkondens ersätts med kolkraftvärme när man går från dagens skatter till ett fall med en utsläppsbubbla. Därför nettosäljer kondenssektorn, medan fjärrvärmesektorn nettoköper utsläppsrätter. Dessa tar i princip ut varandra, varför man kan säga att denna handel förekommer internt i Danmark. I det långa loppet ökar användningen av naturgas inom fjärrvärmesektorn för kraftvärmeproduktion i fallet med utsläppsbubblan, jämfört med ett fall med dagens skatter. Därför nettoköper denna sektor något på lång sikt. Ingen kondensproduktion finns då kvar, men kol är fortfarande ett bränsle som trots allt ingår i vissa kraftvärmeverk. Den danska bostads- och servicesektorn är en liten aktör, mestadels beroende på att de inte släpper ut några större mängder direkt. Fjärrvärme för uppvärmning och hushållsel används tillsammans med mindre mängder olja och gas. De två sistnämnda energislagen avtar dock i bägge fallen med ungefär lika mycket. Fjärrvärmeanvändningen ökar i motsvarande grad i bägge fall. Elanvändningen ökar kraftigt på kort sikt vid fallet med utsläppsbubblan, eftersom de höga elskatterna bortfaller. Med detta skifte påverkar dock inte denna sektor utsläppsrättshandeln för egen del, eftersom utsläppen sker i andra sektorer. Detta

---

<sup>6</sup> Det är långtifrån säkert att man kan se detta som köp och försäljning av utsläppsrätter eftersom referensen är vald som existerande skatter. De totala utsläppen är desamma i bägge fallen, medan de enskilda sektorerna har olika utsläpp, en del mer, andra mindre då de två scenarierna jämförs. Man kan lika gärna tolka det om att utsläppsbubblan är ett fullständigt harmoniserat skattesystem som ”drabbar” samtliga sektorer i alla länder lika hårt. Ordvalet nettoköp och nettoförsäljning används dock trots allt i denna text.

illustrerar en markant skillnad mellan motsvarande sektorer i Danmark och Sverige. Bägge sektorer kan göra anspråk på att vara kraftigt ”överbeskattade”, i Sverige beträffande i synnerhet oljeanvändningen, medan det är elanvändningen som drabbas hårt i Danmark. När dessa ”överbeskattningar” ersätts av en gemensam CO<sub>2</sub>-bubbla ökar den ena parten, nämligen i Sverige, sina utsläpp och agerar på ”utsläppsriktbörser”, medan den danska motsvarigheten knappt märks i detta avseende. Industrin i Danmark spelar en undanskymd roll.

I Norge fortsätter man satsa på vattenkraftsutbyggnad. I fallet med dagens skatter kompletteras vattenkraften av en kraftig expansion inom kondenssektorn (naturgasbaserad). Denna expansion är mindre i fallet med en utsläppsbubbla då man istället bygger ytterligare vattenkraft. Den avgörande skillnaden är dock att Norge nettoexporterar mindre el i fallet med utsläppsbubblan. Därför behövs inte någon kraftig ökning av gaskondens. (Utsläppsbubblan medför att mer el kan produceras inom länderna baserat på gaskraftvärme, 12 TWh mer på kort sikt och ca 6-8 TWh mer på lång sikt.) Endast en smärre ökning av oljeanvändningen kan skönjas i bostads- och servicesektorn och industrisektorn, varför dessa sektorer knappast märks ur koldioxidperspektiv.

För Finlands del, sker det mesta av ändrade koldioxidutsläpp mellan beräkningsfallen inom kondens- och industrisektorerna på kort sikt. Den existerande kolkondenskapaciteten kan producera närmare 8 TWh årligen. Denna används i fallet med dagens skatter, men inte i fallet med en nordisk utsläppsbubbla. Därmed kan denna sektor sägas nettosälja utsläppsrätter. Motsvarande gäller för kolanvändningen inom den industriella mottrycksproduktionen, som minskar med närmare 10 TWh på kort sikt i fallet med utsläppsbubblan. På lång sikt spelar fossil elproduktion dock fortfarande en viktig roll i Finland. I synnerhet gäller detta ny naturgasbaserad mottryckskraft som bara minskar marginellt då man går från dagens skatter till ett fall med en utsläppsbubbla. Eftersom naturgastillförseln används fullt ut (även inkl. en ny transnordisk gasledning) måste kol till för att komplettera elförsörjningen. Ny kolkondens behövs dock inte i fallet med utsläppsbubblan. Detta gör sammantaget att finsk kondensproduktion kan sägas nettosälja utsläppsrätter både på kort och på lång sikt. Anledningen till att finsk kondensproduktion baserad på fossila bränslen måste till i fallet med utsläppsbubblan (men ej i de andra länderna) är bland annat de relativt blygsamma överföringsförbindelserna för el (med undantag för Sverige och Finland) och att elanvändningen ökar mer än i de andra länderna. Dessutom räcker fjärrvärmeunderlag, vindkraft och vattenkraft inte till för att tillgodose hela behovet med annan produktion. Tas restriktionen på ny kärnkraft bort ökar naturligtvis möjligheten att undvika fossileldad kondenskraft även i Finland. På lång sikt är oljeanvändningen i fallet med utsläppsbubblan större än i fallet med dagens skatter för sektorn bostäder och service. Liksom i Sverige ökar oljeanvändningen för uppvärmningsändamål i fallet med utsläppsbubblan. På lång sikt används mer gaskraftvärme samt mindre olje- och kolkraftvärme i fallet med utsläppsbubblan jämfört med fallet med dagens skatter. Nettoeffekten blir faktiskt

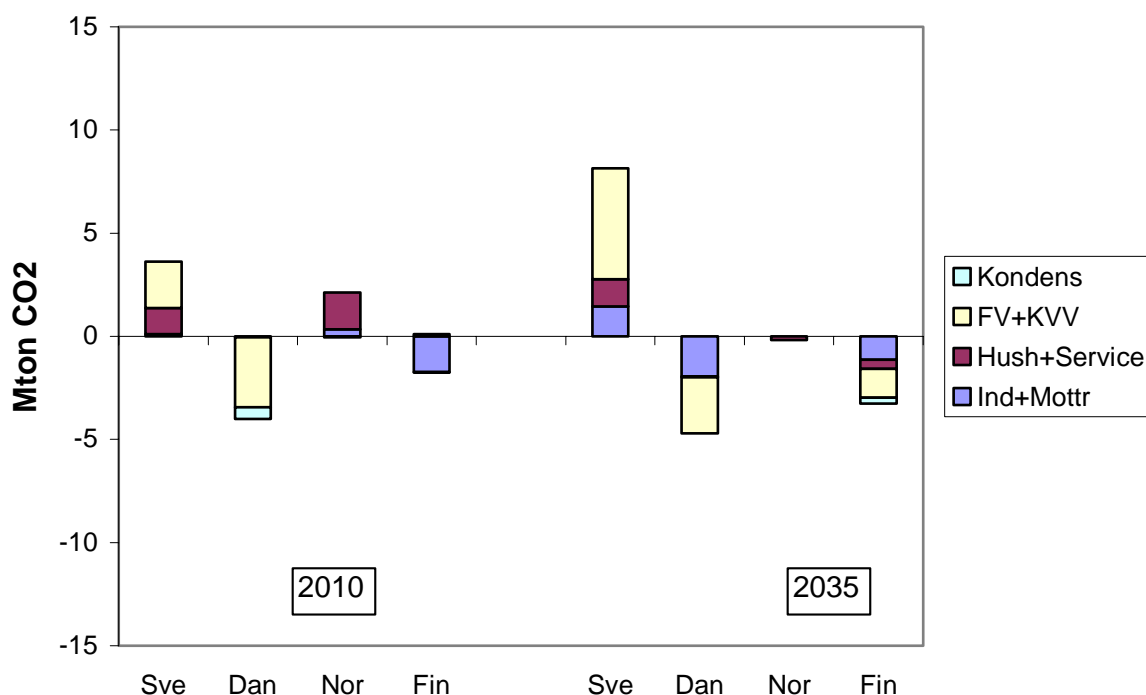
en minskning av utsläppen, varför denna sektor kan agera som nettosäljare på en tänkt utsläppsbörs.

### **3.2 Gemensamt nordiskt system för reduktion av koldioxidutsläpp, jämfört med nationella system – beräkningar utan dagens skatter**

Det finns ett stort värde av att genomföra utsläppsreduktionsåtaganden internationellt istället för nationellt. Orsaken är att marginalkostnaden för reduktionsåtgärderna är olika stora. Detta har man delvis tagit hänsyn till då olika länders utsläppsmål definierats, men trots den differentiering som detta innebär kvarstår skillnader, och därmed möjligheter till kostnadsreduktion om åtgärderna införs där de är billigast.

I figur 3 visas en jämförelse av beräkningar av ett fall med nationella utsläppsbubblor och ett fall med en gemensam nordisk bubbla med exakt samma tillåtna totala utsläpp som summan av de fyra ländernas tillåtna nationella utsläpp. I detta fall sätts utsläppsgränserna av de åtagande varje land har gentemot Kyotoprotokollet (och EU:s efterföljande bördefördelning) till och med 2010. Därefter reduceras utsläppen i varje land med ytterligare 20 % till och med 2050. Beräkningarna är gjorda utan dagens skatter.

Detta exempel illustrerar de handelsmönster för utsläppsrätter som skulle kunna uppkomma mellan länderna om ett sådant handelssystem införs gemensamt i Norden istället för land för land.



Figur 3: Koldioxidutsläpp sektor för sektor och land för land vid en nordisk utsläppsbubbla istället för nationella bubblor, utan skatter

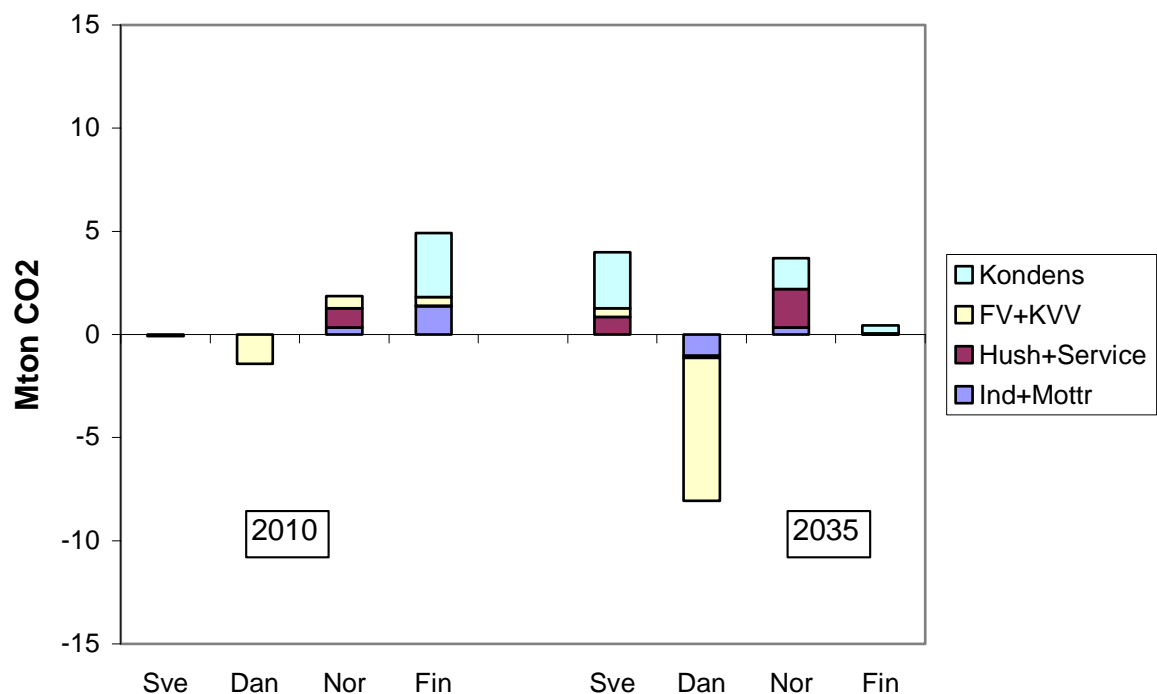
Här jämför vi alltså två fall utan skatter. Vi får alltså inte med den suboptimering som dagens skatter medför. Däremot ser vi på kort sikt att de totala kostnaderna för koldioxidbegränsningen skulle kunna sänkas om Danmark och Finland minskade sina utsläpp utöver sitt åtagande, medan Sverige och Norge tillåts öka sina utsläpp något. Det är för Sveriges del främst ökad kraftvärmeproduktion baserad på naturgas som skulle vara motiverad, medan man i Danmark borde minska sin användning av kol inom fjärrvärmesektorn. I Norge är det främst inom sektorn hushåll och service som utsläppen borde vara större (mindre elvärme och mer oljeeldning). I Finland slutligen, är det främst inom industrisektorn som utsläppen borde minska mer.

Detta kan översättas till att Sverige och Norge på kort sikt köper utsläppsrätter från Danmark och Finland. Säljarna av utsläppsrätter finns alltså främst inom fjärrvärmesektorn i Danmark och inom industrisektorn i Finland, medan köparna finns inom sektorerna hushåll och service i Sverige och Norge samt fjärrvärme i Sverige.

På lång sikt är resultatet ungefär detsamma, men där är det endast i Sverige som utsläppen bör överstiga det nationella åtagandet. Övriga länder bör minska sina utsläpp mer än de nationella åtagandena kräver. En viktig orsak till detta förhållande är den kraftiga ansträngning som den svenska kärnkraftavvecklingen medför.

### 3.3 Gemensamt nordiskt system för reduktion av koldioxidutsläpp, jämfört med nationella system – beräkningar inklusive dagens skatter

Även i figur 4 visas en jämförelse av beräkningar av ett fall med nationella utsläppsbubble och ett fall med en gemensam nordisk bubbla med exakt samma tillåtna totala utsläpp som summan av de fyra ländernas tillåtna nationella utsläpp. Beräkningarna är dock i detta fall gjorda inklusive dagens skatter. Exemplet illustrerar alltså de handelsmönster för utsläppsätter som skulle kunna uppkomma mellan länderna om ett sådant handelssystem införs gemensamt i Norden istället för land för land.



Figur 4: Koldioxidutsläpp sektor för sektor och land för land vid en nordisk utsläppsbubble istället för nationella bubbler, med skatter

När beräkningarna med utsläppsbubble görs inklusive dagens skatter får man en dubbel styrning av utsläppen, dels genom att skatterna gör vissa alternativ dyrare och dels genom bubblan som styr in de anpassningsåtgärder som till lägst kostnad klarar den givna utsläppsbegränsningen. I detta fall ingår dock skatterna i åtgärdskostnaden och därmed blir de åtgärder som införs på sådant som drabbas av höga skatter på ett konstlat sätt billigare (genom att utgångsläget blir dyrare). Därmed väljs en ickeoptimalt stor andel av anpassningsåtgärderna från högt beskattade sektorer.

I figuren framgår på kort sikt ett intressant fenomen. I princip skall ju de positiva och negativa staplarna balansera varandra. Det är ju totalt sett samma utsläpps begränsning som tillämpas. För år 2010 framgår dock att de positiva staplarna är större än de negativa. Detta innebär att när den gemensamma nordiska bubblan tillämpas så sker en ökning av de totala koldioxidutsläppen. Förklaringen är att utsläppen för Sverige tack vare skatterna blir lägre än den tillåtna nivån som den nationella bubblan tillåter. Detta fenomen benämns ofta ”hot air”. Vi skall inte dra alltför långtgående slutsatser från detta. Exempelvis ingår ju transportsektorn endast i form av en försiktig prognos. Vi har inte heller i detalj stämt av de antagna energibehovsprognoserna. Resultatet är dock intressant eftersom det pekar på ett helt möjligt principiellt resultat.

På kort sikt skulle alltså de svenska utsläppen i princip bibehållas då en nordisk bubbla införs, eftersom den svenska utsläppsbubblan inte varit styrande. Trots den ”hot air” som de svenska skatterna indirekt frigör, leder den nordiska bubblan ändå till att de danska utsläppen från fjärrvärmesektorn minskar. Det är främst naturgaskraftvärme som ersätter kolkraftvärme. I Norge och framför allt i Finland tillåter den nordiska bubblan större utsläpp än i fallet med nationella bubblor. Det är främst finsk kondensproduktion som skulle stimuleras i detta fall.

På lång sikt finns ingen ”hot air” tillgänglig. Även på lång sikt leder en nordisk bubbla till ett tryck på minskade utsläpp från dansk fjärrvärmeproduktion (inklusive kraftvärme-el). Utsläppen ökar främst i Sverige och Norge, både från kondenskraftverk och från sektorn hushåll och service. Man kan notera att ett gemensamt system för utsläppshandel inte möjliggör ökade svenska utsläpp från kraftvärmesektorn på grund av dagens höga skatter. Detta är en stor skillnad mot motsvarande jämförelse utan dagens skatter, avsnitt 3.2.



## 4. Internationell handel med utsläppsrätter för koldioxid

När vi beräknat effekterna av en nordisk utsläppsbubbla för koldioxid i avsnitt 3 ovan kan man säga att vi simulerat ett nordiskt system för utsläppshandel. Av intresse är också att se på konsekvenserna av ett betydligt större utsläppshandelssystem, där Norden endast utgör en mindre del. Inom detta projekt har vi inte möjlighet att på ett detaljerat sätt beskriva energisystemen i ett stort antal andra länder och utvidga utsläppsbubblan till att även omfatta dessa. Istället har vi gjort antaganden om några olika världsmarknadspriser på utsläppsrätter. Dessa erbjuder vi som en möjlig option till beräkningsmodellen för att uppfylla den nordiska utsläppsbubblan. Därigenom kan beräkningsmodellen välja mellan att genomföra ”verkliga” åtgärder i Norden eller att anskaffa utsläppsutrymmen via de externa utsläppsrätterna. Ett av de intressanta resultaten från denna analys är hur stor del av utsläppsreduktionen som görs med åtgärder i Norden, respektive köps på en internationell utsläppsrättmarknad.

Vid beräkningarna tillåter vi att utsläppsrätter går i båda riktningarna. Det är alltså inte endast inköp av utsläppsrätter som kan bli aktuell, utan också att Norden säljer utsläppsrätter till det antagna världsmarknadspriset. Detta inträffar om marginalkostnaden för reduktionsåtgärder i Norden är lägre än priset på utsläppsrätterna.

Vi har gjort beräkningarna vid tre olika exogena prisnivåer för utsläppsrätterna: 10, 20 och 30 öre/kg koldioxid<sup>7</sup>. Detta har kombinerats med olika begränsningar av de totala koldioxidutsläppen i Norden (”utsläppsbubblans storlek”). Vi har då antagit att Norden år 2010 uppfyller summan av de nationella åtagande som de fyra studerade länderna åtagit sig (enligt Kyoto och EU:s bördefördelning). Därefter tänker vi oss en linjär minskning som leder till att utsläppen år 2050 ligger 5%, 25% eller 50% lägre än 1995 års utsläppsnivå. (Minus 5% motsvarar att utsläppen ligger kvar konstant på 2010 års nivå.) Dessutom har beräkningarna gjorts för ett fall utan utsläppsbegränsning.

Beräkningarna har vi gjort både inklusive dagens skatter och exklusive skatter.

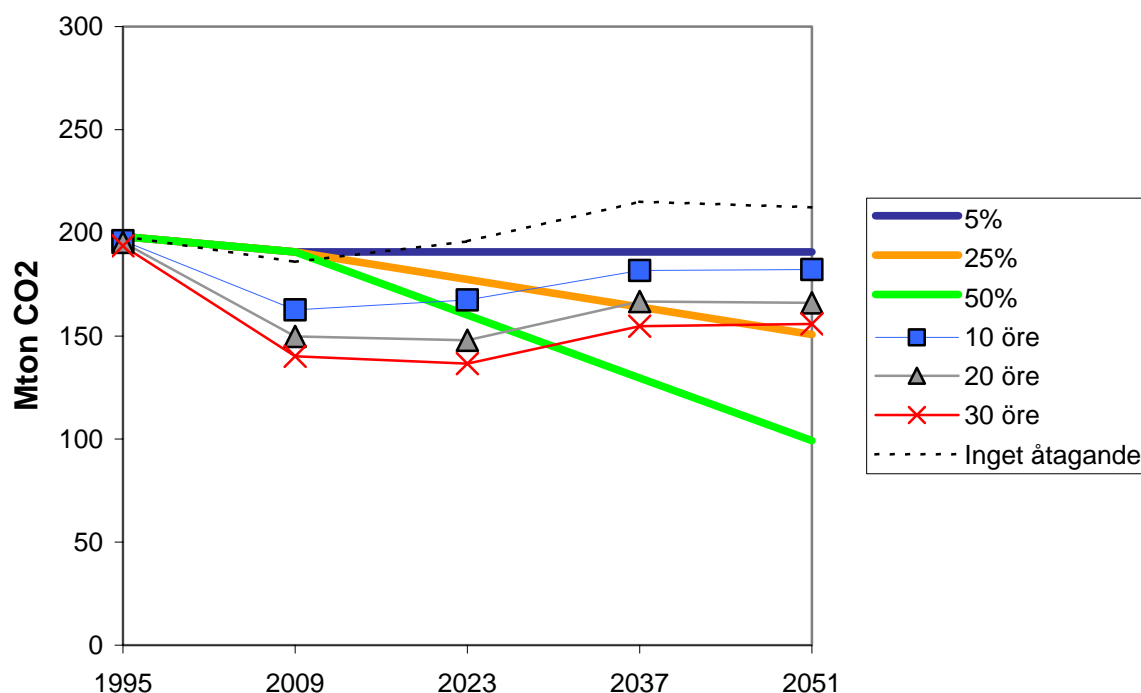
### 4.1 Inklusive dagens skatter

Figur 5 visar resultaten av beräkningarna med ett exogent pris på utsläppsrätter i fallet då dagens skatter bibehålls under hela den studerade perioden. De feta linjerna visar de utsläpp som den nordiska utsläppsbubblan tillåter. Den streckade

---

<sup>7</sup> Nivåerna för priserna på utsläppsrätter har valts med ledning av resultat som redovisas i IEA-rapporten ”International emission trading – from concept to reality”, 2001.

linjen visar de nordiska utsläppen av koldioxid utan utsläpps begränsning (utöver den som dagens skatter utgör) och utan tillgång till vare sig köp eller försäljning av utsläppsrätter på en internationell marknad. De tunna linjerna med brytpunktsmarkeringar slutligen, visar de verkliga utsläppen i Norden vid olika pris på utsläppsrätter.



Figur 5: Faktiska utsläpp i Norden och exempel på åtaganden vid olika priser på utsläppsrätter, skatter inkluderade

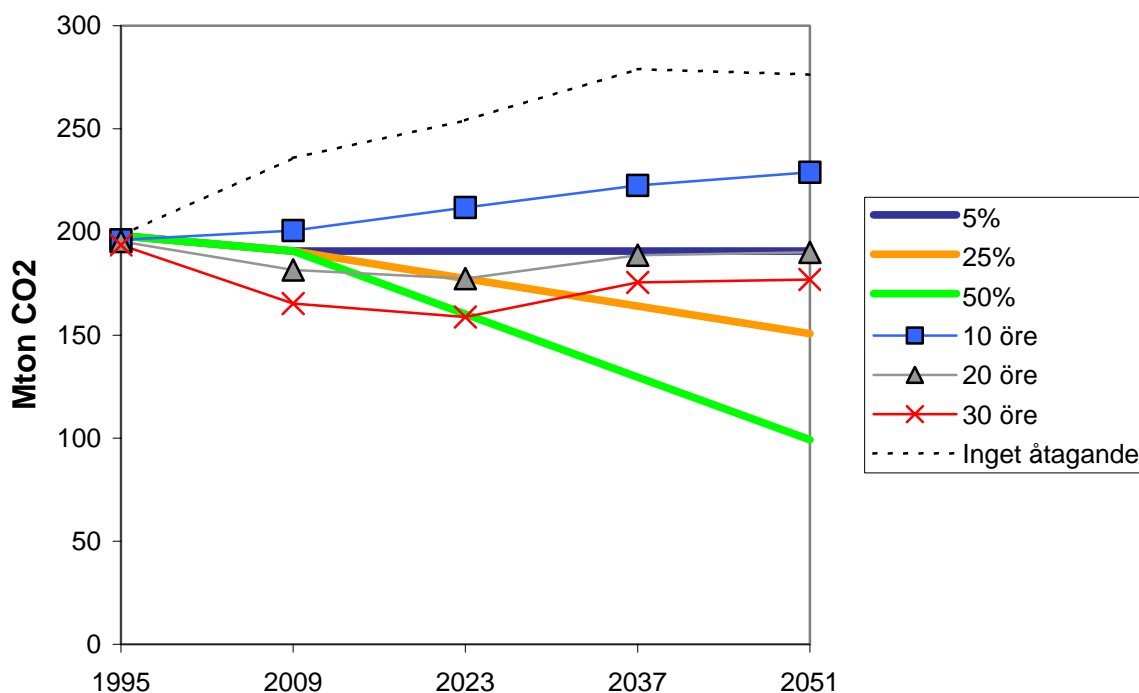
Ett mycket intressant resultat från beräkningarna med tillgång till externa utsläppsrätter är att utsläppen av koldioxid i Norden är helt oberoende av det utsläppsåtagande som förutsätts, d.v.s. helt oberoende av utsläppsbubblans storlek. De verkliga utsläppen beror endast på priset på de externa utsläppsrätterna. Förklaringen till detta är att energisystemets utseende i Norden, och de förutsättningar som detta utvecklas under, ger kostnaderna för koldioxidreduktion. Denna kostnad är helt oberoende av eventuella utsläpps begränsningar. Vid en viss utsläpps begränsning kommer det därmed att bli attraktivt att antingen köpa utsläppsrätter, eller sälja utsläppsrätter. Köp eller sälj avgörs av marginalkostnaden för koldioxidreduktion inom Norden. Om åtgärderna på marginalen är dyrare än det exogena priset på utsläppsrätter blir det optimalt att köpa utsläppsrätter och därmed undvika de åtgärder som är dyrare än priset på utsläppsrätterna. Om utsläpps begränsningen däremot endast tvingar fram reduktionsåtgärder som är billigare än det exogena priset på utsläppsrätter blir det optimalt att sälja utsläppsutrymme genom att genomföra reduktionsåtgärder upp till en marginalkostnad som ges av priset på utsläppsrätterna.

Av figuren kan man exempelvis utläsa att vid utsläppsreduktionsmålet  $-5\%$  kommer alla tre nivåerna på det exogena priset på utsläppsrätter leda till att Norden säljer utsläppsrätter under hela den studerade perioden. Detta framgår genom att de tunna linjerna (som visar verkliga utsläpp i Norden vid respektive utsläppsrättspris) alla tre ligger under linjen som visar  $-5\%$  åtagandet. Om man å andra sidan antar ett utsläppsmål på  $-50\%$  och ett pris utsläppsrätterna på 10 öre/kg CO<sub>2</sub> kommer Norden att sälja utsläppsrätter till år 2020 och därefter kommer det istället att bli attraktivt att köpa utsläppsrätter och därmed tillåta sig större utsläpp än utsläppsbubblan annars tillåter.

Den streckade linjen, som visar utsläppen utan utsläpps begränsning eller handel med utsläppsrätter, visar att dagens skatter i Norden på kort sikt kan komma att räcka för att klara existerande åtaganden för minskning av koldioxidutsläppen. På lång sikt däremot, kommer utsläppen åter att börja öka.

## 4.2 Exklusive dagens skatter

Vi har också gjort beräkningarna av en nordisk utsläppsbubbla, kombinerat med ett exogent pris på utsläppsrätter, för ett fall utan dagens skatter. Detta visar egentligen en mer korrekt bild av åtgärds kostnaderna eftersom dessa då inte förvrängts till följd av skattekostnaderna. Figur 6 är uppbyggd på samma sätt som figuren i föregående delavsnitt.



Figur 6: Faktiska utsläpp i Norden och exempel på åtaganden vid olika priser på utsläppsrätter, exklusive skatter

Fallet utan åtagande, den streckade linjen, leder till att utsläppen från det nordiska energisystemet ökar kraftigt om dagens skatter tas bort. Redan till år 2020 ökar utsläppen med ca 25%.

Slutsatsen om att utsläppen av koldioxid i Norden, i ett läge med tillgång till externa utsläppsrätter, är helt oberoende av det utsläppsåtagande som förutsätts gäller även i fallet utan skatter. Vid ett exogent pris på utsläppsrätter på 10 öre/kg CO<sub>2</sub> kommer det att bli optimalt att ”köpa sig fri”, oberoende av vilken utsläppsreduktion som antas. Detta betyder alltså att marginalkostnaden för att klara utsläppsbegränsningen under hela perioden är högre än 10 öre/kg CO<sub>2</sub>. De åtgärder som införs i Norden, med lägre kostnad än 10 öre/kg CO<sub>2</sub>, räcker inte för att hålla konstanta utsläpp.

Antar vi istället ett exogent pris på utsläppsrätter på 20 öre/kg CO<sub>2</sub> och ett utsläppsreduktionsmål på -5% till år 2050 kommer utsläppen i Norden under hela perioden att ligga lägre än utsläppsbegränsningen kräver. Detta innebär att utsläppsrätter kommer att säljas från Norden.

Vid strängare utsläppsreduktionsmål, t.ex. -50% till år 2050 är det endast under en kort period som det är optimalt att sälja utsläppsrätter. Vid 30 öre/kg CO<sub>2</sub>, d.v.s. ett relativt högt pris på utsläppsrätter, säljer Norden utsläppsrätter fram till

2025. Därefter köper Norden utsläppsrätter. Vid lägre pris på externa på utsläppsrätter växlar Norden ännu tidigare från att vara säljare till att bli köpare.

Om man jämför beräkningarna med dagens skatter respektive utan dagens skatter, figur 5 och 6, framgår det tydligt att kostnaden för reduktionsåtgärderna är högre i fallet utan dagens skatter. Det visar sig genom att en större andel av reduktionsåtagandena klaras genom att till Norden införskaffa utsläppsrätter. En mindre andel av åtagandena klara alltså med åtgärder inom Norden.



## 5. Handel med utsläppsrätter i Norden och elcertifikat – vart och ett för sig och i samverkan

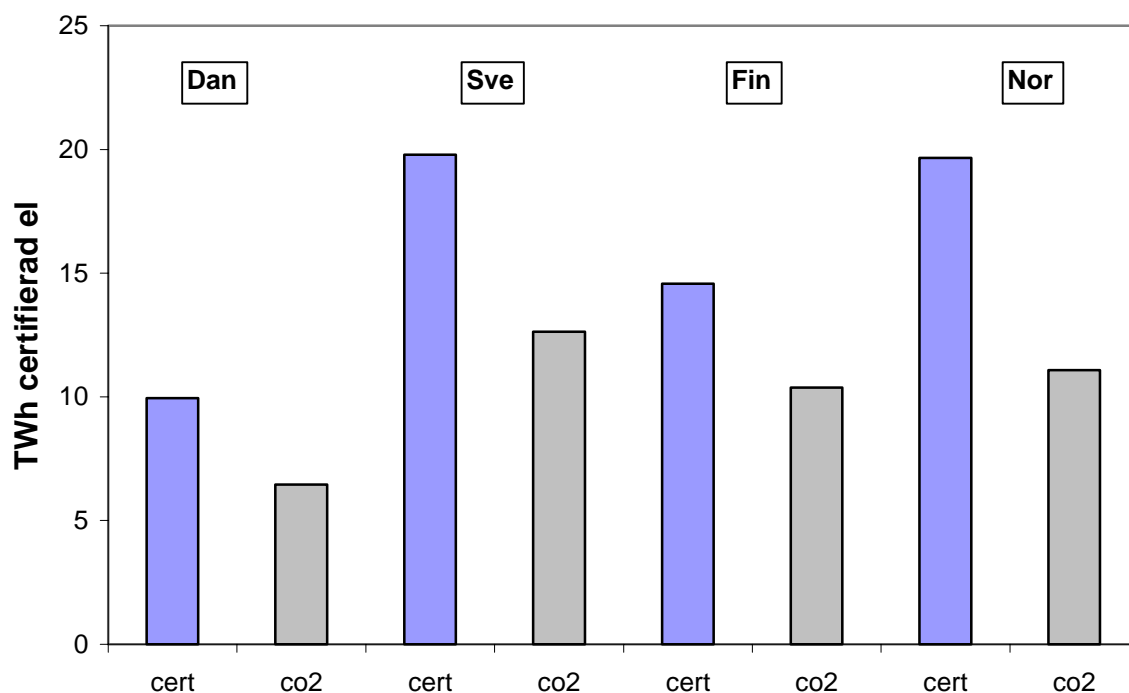
Handel med utsläppsrätter för koldioxid är ett marknadsbaserat system för att reducera utsläppen. Ett annat marknadsbaserat system med näraliggande mål är det föreslagna elcertifikatsystemet för att stödja förnybar elproduktion. Även om målen är näraliggande för de båda systemen så finns det viktiga skillnader. Handel med utsläppsrätter har fokus på att begränsa utsläppen av koldioxid. Nuvarande planer för utformningen av ett sådant system är begränsade till ett antal sektorer av energisystemet. Inom dessa sektorer omfattas dock all energiomvandling. Systemet planeras att omfatta alla länder inom EU.

Elcertifikatsystemet fokuserar istället på att stimulera elproduktion från förnybara energikällor. Detta ger indirekt mindre koldioxidutsläpp, men detta är alltså inte huvudmålet. Det nu föreslagna systemet är nationellt, men med en förhoppning om att fler länder kan komma att omfattas längre fram.

I de beräkningar som redovisas i detta avsnitt har vi använt en delvis annorlunda MARKAL-databas. Här omfattar databasen endast el- och fjärrvärmeproduktionen i de fyra länderna. Istället för att beskriva hela ”slutanvändarledet” har vi lagt in en prognos för el- och fjärrvärmebehovet. Detta diskuteras mer ingående i avsnitt 2.

Databasens utformning innebär att beräkningsfallen med utsläppshandel endast tillåter utsläppshandel inom el- och fjärrvärmeproduktionen. Därmed kan man konstatera att ett antal reduktionsåtgärder som ligger utanför denna systemgräns inte kan tas i anspråk. Därmed minskar vi urvalet av anpassningsåtgärder och effektivitetsvinsten som utsläppshandeln kan ge blir mindre än om en vidare systemgräns används.

Elproduktionskraven för de aktuella anläggningarna, som elcertifikatkvoten baseras på, bygger på EU:s direktiv om främjande av el producerad från förnybara energikällor. I vårt grundantagande antar vi att certifikatsystemet år 2010 tvingar in el motsvarande de mörkblå staplarna i figur 7. Figuren visar den sammanlagda elproduktionen från anläggningar som omfattas av elcertifikatsystemet, dels då elcertifikatsystemet införts och dels hur mycket dessa produktionsslag ger i ett fall då istället ett nordiskt utsläppshandelssystem tillämpas (och där de totala koldioxidutsläppen är lika stora).



Figur 7: Elproduktion år 2010 från "elcertifikattekniker" i fallet nationella elcertifikatsystem, "cert", respektive ett nordiskt utsläppshandelssystem med samma koldioxidutsläpp, "co2"

Av figuren framgår att "certifikat-teknikerna" får klart mindre betydelse då utsläppshandel används för att ge samma utsläpp som dagens skatter plus elcertifikatsystem leder till. Detta visar alltså att elcertifikatsystemet (tillsammans med dagens skatter) inte är det mest kostnadseffektiva sättet att begränsa utsläppen av koldioxid<sup>8</sup>. Det finns åtgärder som till lägre kostnad minskar utsläppen. Vissa av de förnybara elproduktionsteknikerna visar sig dock vara kostnadseffektiva i båda beräkningsfallen.

Den ovan redovisade analysen jämför nationella elcertifikatsystem i Norden med ett nordiskt system för utsläppshandel som ger samma koldioxidutsläpp. Det finns dock inget motsatsförhållande mellan de båda systemen och man kan mycket väl tänka sig att båda systemen tillämpas parallellt. Däremot kan man förutse att de båda systemen tillämpade samtidigt kan ge delvis oförutsedda effekter. Vi har därför studerat kombinationen av system för utsläppshandel och elcertifikat med hjälp av modellberäkningar. Vi har i två beräkningsfall infört nationella elcertifikatsystem i de nordiska länderna. I det första beräkningsfallet har vi kombinerat elcertifikatsystemen med dagens skatter (men utan dagens subventioner till förnybar elproduktion). I det andra fallet kombinerar vi de

<sup>8</sup> Som vi tidigare diskuterat är ju inte heller elcertifikatsystemets överordnade mål att minska koldioxidutsläppen till lägsta möjliga kostnad. Vårt konstaterande är därmed inte något ifrågasättande av elcertifikatsystemet som sådant.



nationella elcertifikatsystemen med ett nordiskt utsläppshandelssystem för koldioxid (simulerat genom en utsläppsbubbla) istället för dagens skatter. Man kan säga att dagens skatter ersätts av ett gemensamt nordiskt koldioxidåtagande. Utsläppen begränsas till precis den nivå som det första fallet, med dagens skatter och elcertifikat, ger.

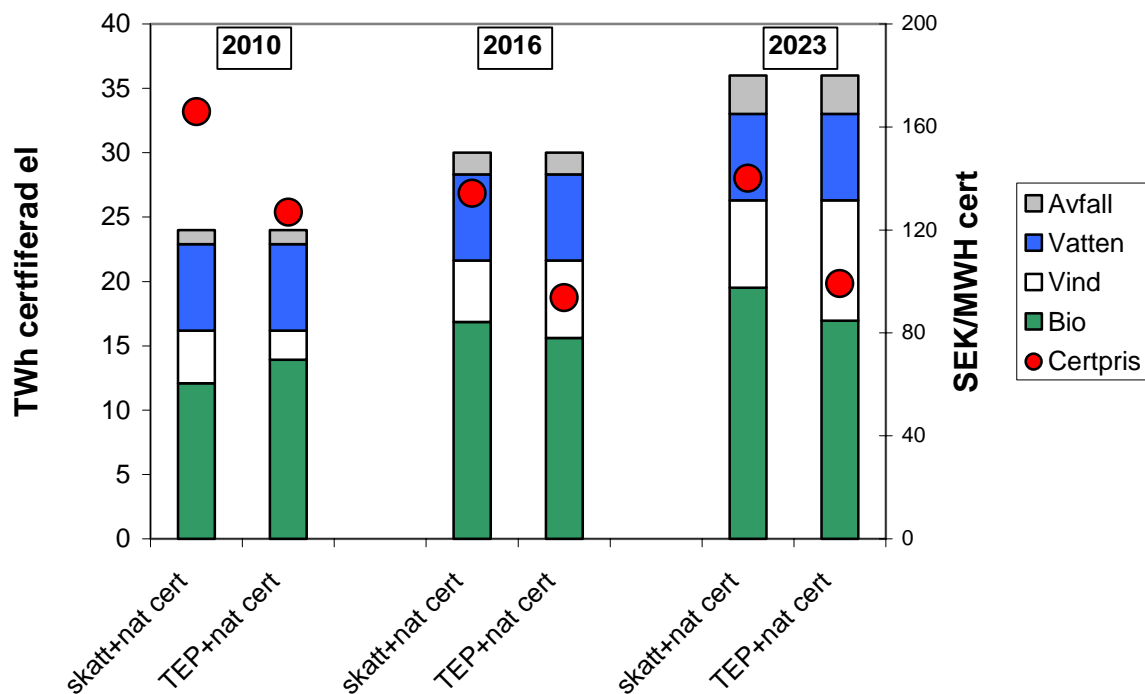
Figur 8 visar produktionsmixen inom elcertifikatsystemet i Sverige för de båda fallen. Generellt sett kan man konstatera att mängden vattenkraft och avfallskraftvärme är densamma i båda beräkningsfallen. Däremot skiljer sig mängden vindkraft och biobränslekraftvärme åt mellan beräkningsfallen. På kort sikt, år 2010, blir det mer vindkraft och mindre biobränslekraftvärme i fallet med dagens skatter. På lång sikt, år 2016 och framåt, är förhållandet det motsatta. Förklaringen till förhållandena på kort sikt är att oljekraftvärme (i existerande anläggningar) ökar sin produktion i fallet med utsläppsbubblan, eftersom kostnaden för att använda olja för värmeproduktion minskar relativt sett. Detsamma gäller viss fossilbränsleanvändning i hetvattenpannor. Samtidigt bli även nyinvestering i biobränsleeldade kraftvärmeverk intressant på grund av högre elpris. I fallet med utsläppsbubblan är biobränslepriset lägre, eftersom mer fossila bränslen används i fjärrvärmesektorn. Till följd av lägre biobränslepriser tappar vindkraft på kort sikt i konkurrenskraft gentemot biobränslekraftvärme. Totalt sett blir det mer kraftvärme i fallet med utsläppshandel, eftersom kraftvärme baserad på fossila bränslen utnyttjas mer i detta fall.

På lång sikt får istället ny naturgaskraftvärme och existerande oljekraftvärme ökad konkurrenskraft, då skatterna inte belastar värmeproduktionen i kraftvärmedrift. Därmed försämras biobränslekraftvärmens relativa konkurrenskraft något. Den något minskade användningen av biobränslekraftvärme ersätts inom certifikatsystemet med vindkraft, vars investeringskostnader antas minska i framtiden till följd av tekniskt lärande.

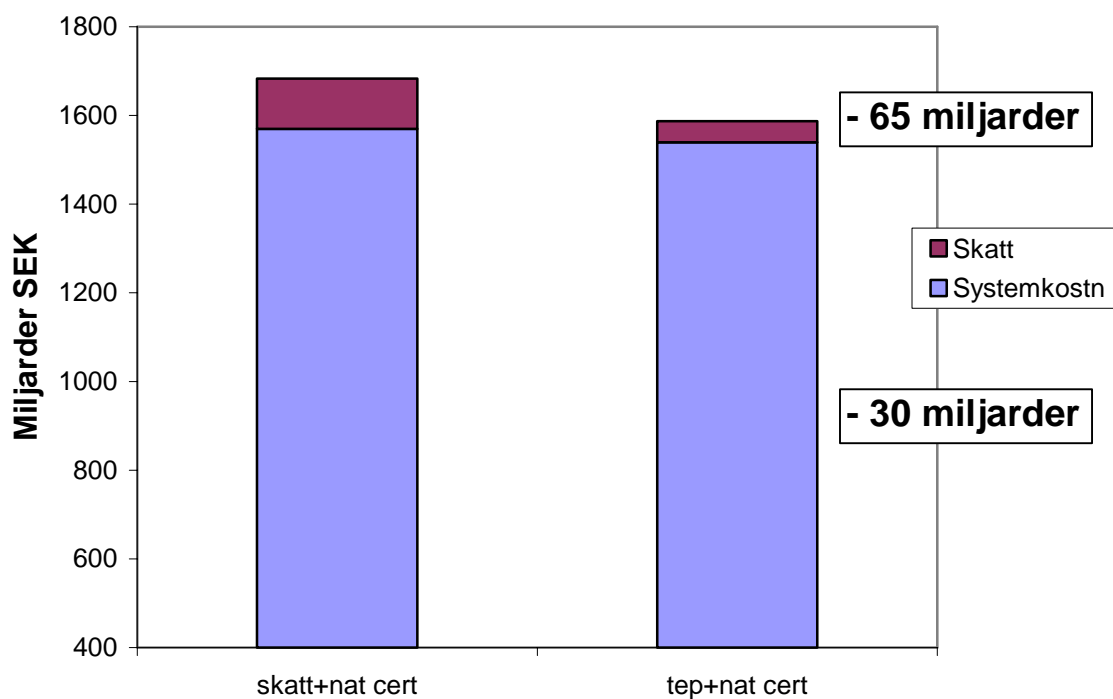
I figur 8 visas också priset på elcertifikaten i de båda beräkningsfallen. Allmänt sett kan man konstatera att certifikatpriserna är lägre i fallen med utsläppshandel än i fallet med dagens skatter. Förklaringen till detta är att i fallet med dagens skatter så belastas elproduktionen i "certifikatteknikerna" inte med några andra "styrmedelskostnader" (eftersom elproduktionen är skattefri). Därmed måste hela merkostnaden för att få in den efterfrågade elproduktionen från aktuella anläggningarna täckas via certifikatpriset. I fallet med utsläppshandel belastas både el- och fjärrvärmeproduktion likformigt med kostnader i proportion till resulterande koldioxidutsläpp. Detta ökar elproduktionskostnaden i utgångsläget (utan elcertifikatsystem). Därmed behövs ett mindre tillskott för att driva in erforderade mängder förnybar elproduktion, d.v.s. ett lägre pris på elcertifikat. Beräkningarna visar att certifikatpriset, med den kvotstorlek vi förutsatt, hamnar på ca 150 kr/MWh i fallet med dagens skatter och ca 110 kr/MWh i fallet med utsläppshandel.

Som vi tidigare noterat blir kostnaderna för energiförsörjningen lägre då utsläppshandel utnyttjas för att begränsa utsläppen av koldioxid än om dagens

skatter tillämpas. Figur 9 visar kostnaden för el- och fjärrvärmeproduktionen i Norden under den studerade perioden för de båda beräkningsfallen.



Figur 8: Elproduktionens sammansättning inom certifikatsystemet i Sverige samt certifikatpris i fallet med nationellt elcertifikatsystem, vid dagens skatter respektive nordisk utsläppshandel

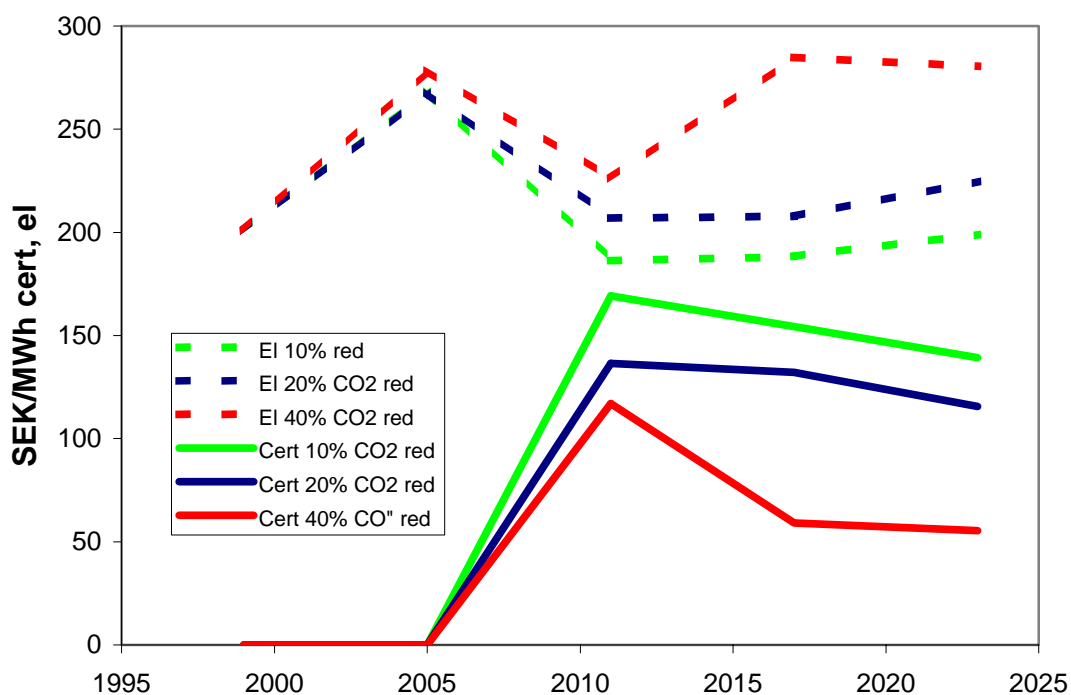


Figur 9: Kostnaden för el- och fjärrvärmeproduktion i Norden under den studerade 30-årsperioden för beräkningsfallen med ett elcertifikatsystem, med dagens skatter respektive utsläppshandel

Båda beräkningsfallen innehåller nationella elcertifikat. Det enda som skiljer sig åt är alltså att dagens skatter ingår i det ena fallet, medan de försvinner och ersätts med utsläppshandel i det andra fallet<sup>9</sup>. Energiförsörjningen blir alltså 30 miljarder kronor billigare i fallet med utsläppshandel. Samtidigt minskar skatteintäkterna med 65 miljarder kronor.

En intressant frågeställning i samband med analysen av samtidig användning av elcertifikat och utsläppshandel är hur elpris, certifikatpris och priset på utsläppsrätter förhåller sig till varandra vid olika begränsningar av de totala koldioxidutsläppen respektive olika volym på certifikatsystemet ("kvotens storlek").

<sup>9</sup> Anledningen till att det redovisas en skattekostnad även i fallet med utsläppshandel är att vi gradvis fasar ut skatterna. De är helt borta 2010. Eftersom kostnaderna som redovisas i figuren är nuvärden väger skattekostnaderna ganska tungt trots att de endast ingår i början av beräkningsperioden.



Figur 10: El- och certifikatpris vid olika reduktionsnivåer för de totala koldioxidutsläppen i Norden

Figur 10 visar elpris och certifikatpris vid tre olika reduktionsnivåer för de totala koldioxidutsläppen i Norden. Figuren illustrerar situationen då summan av de nationella elcertifikatkvoterna uppgår till 64 TWh/år. Koldioxidreduktionen varierar mellan 10% minskning jämfört 1995 års nivå och 40% minskning. Av figuren framgår att elpriset, de streckade linjerna, stiger snabbt på kort sikt samtliga begränsningsfall, för att därefter sjunka igen. Den kortvariga pristoppen kan i stor utsträckning förklaras med beskrivningen i beräkningsmodellen. Direkt då utsläpps begränsningen införs måste el- och fjärrvärmesystemet anpassa sig. Tiden för anpassningen är mycket begränsad och anpassningsmöjligheterna dikteras i stor utsträckning av det befintliga systemets utseende. På längre sikt kan energisystemets utveckling anpassas till begränsningen och det blir betydligt lättare att hitta kostnadseffektiva åtgärder, t.ex. då anläggningar vars livslängd ändå går ut skall ersättas.

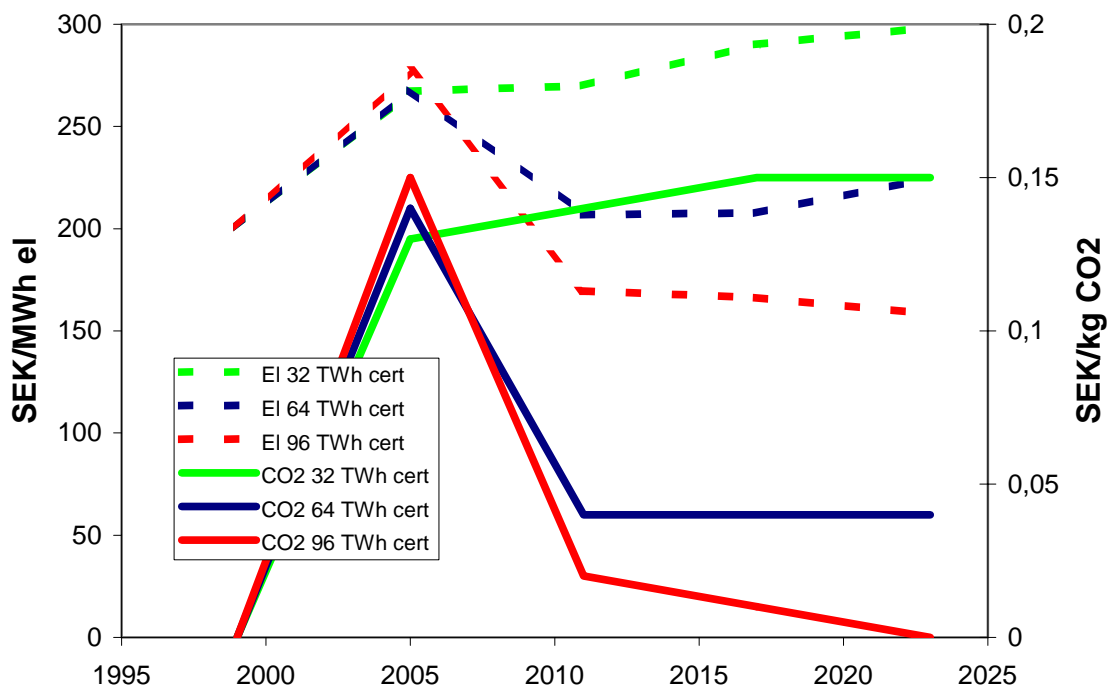
Vid den måttliga utsläpps begränsningen ligger elpriset långsiktigt kvar på dagens nivå, eller till och med något lägre. Anledningen till att anpassningen går så smärtfritt är att certifikatsystemet tvingar in åtgärder som hjälper till med utvecklingen av elproduktionssystemet. I takt med strängare utsläpps begränsningar stiger elpriset, men det är först vid relativt stränga begränsningar, -40%, som elpriset stiger märkbart på lång sikt.

Certifikatpriset visar på ett omvänt förhållande. Här blir certifikatpriset på lång sikt allt lägre i takt med att utsläpps begränsningarna skärps. Förklaringen är att begränsningen av de totala koldioxidutsläppen tar på sig en större del av den totala kostnaden för utsläppsanpassningen. Man kan också uttrycka det som att handeln med utsläppsrätter, där priset på utsläppsrätterna blir högre ju strängare begränsning man antar, avlastar certifikatsystemet från anpassningskostnaderna.

Figur 11 visar elpris och priset på utsläppsrätter vid 20% utsläppsreduktion. Här har vi varierat omfattningen av elcertifikatsystemet, d.v.s. hur mycket elproduktion som summan av de nationella certifikatkvoterna föreskriver. Vi har då testat nivåerna 32, 64 och 96 TWh/år för hela Norden gemensamt. Elpriset, de streckade linjerna i figuren, stiger även här snabbt då utsläpps begränsningen för koldioxid införs. Förklaringen till pristoppen är densamma som presenterades för figur 10. På längre sikt fortsätter elpriset stiga långsamt från 2005 till 2025 i fallet med en liten elcertifikatkvot, 32 TWh i Norden. Om elcertifikatkvoten fördubblas sjunker dock elpriset tillbaka till strax över dagens nivå. Förklaringen är att elcertifikatsystemet driver in elproduktion, och därmed avlastas elsystemet från att bära hela kostnaden för elsystemets utveckling. I fallet med en liten certifikatkvot måste elsystemet i högre grad bära sina egna kostnader. En extra påfrestning i detta sammanhang är den utsläpps begränsning för koldioxid som förutsatts.

Vid en mycket stor certifikatkvot sjunker elpriset, efter toppen kring 2005, till en nivå lägre än dagens. Här blir alltså sambandet mellan certifikatkvotens storlek och elpriset ännu tydligare. Trots utsläpps begränsningen för koldioxid, -20% till 2050, får man alltså sjunkande elpriser. Certifikatsystemet är i detta fall till och med så starkt att skuggpriset på utsläpps begränsningen, ”priset på utsläppsrätterna”, sjunker till noll. Innebörden av detta är att certifikatsystemet är tillräckligt för att klara utsläpps begränsningen. Inga ytterligare anpassningar krävs alltså. Här är det viktigt att komma ihåg att vi i detta fall endast studerar el- och fjärrvärmeproduktionen i Norden. Övriga delar av energisystemet ingår alltså inte i denna analys. Certifikatsystemet är därmed inte tillräckligt kraftfullt för att klara -20% koldioxidutsläpp för Nordens totala koldioxidutsläpp. I fallet med en liten elcertifikatkvot framgår av figuren att priset på utsläppsrätterna däremot snabbt blir relativt högt, och ligger kvar på denna nivå, ca 15 öre/kg CO<sub>2</sub>.

Sammanfattningsvis kan man konstatera att vid en given utsläpps begränsning för koldioxid medför en stor elcertifikatkvot ett högt certifikatpris, men låga elpriser och låga priser på utsläppsrätter. En sträng utsläpps begränsning leder till höga priser på utsläppsrätter och höga elpriser, men låga certifikatpriser.



Figur 11: Elpris och pris på utsläppsrätter vid olika total omfattning på nationella elcertifikatsystem i Norden, 20% utsläppsreduktion

## 6. EU:s förslag om handel med utsläppsrätter för koldioxid

EU-kommissionen lämnade i oktober 2001 ett förslag till ett system för handel med utsläppsrätter ("Proposal for Directive of the European Parliament and of the Council – establishing a framework for greenhouse gas emissions trading within the European Community and amending Council Directive 96/61/EC"). Exempel på innehåll i direktivförslaget:

- ▶ Handelssystemet etableras inom EU för vissa sektorer med början 2005.
- ▶ Bindande på anläggningsnivå. De berörda anläggningarna måste årligen visa upp utsläppsrättigheter motsvarande sina faktiska utsläpp.
- ▶ Tilldelningen föreslås ske gratis till en början.
- ▶ Straffavgifter kan utdömas.
- ▶ De "sektorer" som föreslås omfattas av systemet är kraft- och värmeproduktion över 20 MW, raffinaderier, koksugnar samt processutsläpp från ett antal industribranscher.

I en serie MARKAL-beräkningar har vi gjort ett försök att simulera ett sådant system. Vi har förenklat beskrivningen så att "utsläppsbubblan" omfattar all energiomvandling inom sektorerna el- och fjärrvärmeproduktion, samt industri. Vi har inkluderat processutsläpp från industrin, men för dessa ingår inga teknikalternativ i databasen som möjliggör utsläppsreduktion. Vi har inte heller tagit hänsyn till storleksbegränsningen 20 MW, utan låtit utsläppshandelssystemet omfatta all energiomvandling inom de aktuella sektorerna. Utanför utsläppshandelssystemet ligger i våra beräkningar sektorn bostäder och service samt transportsektorn.

Liksom tidigare har vi analyserat det nordiska energisystemets utveckling. Hur stort utsläppsutrymme har vi då givit till utsläppshandelssystemet? Vi har inledningsvis gjort en beräkning av energisystemets utveckling i de nordiska länderna med dagens skatter. I resultaten har vi sedan avläst utsläppen från de sektorer som omfattas av utsläppshandelssystemet samt utsläppen från de sektorer som ligger utanför detsamma. Därefter har vi formulerat en total nordisk utsläppsbegränsning för utsläppshandelssystemet som innebär att utsläppen till år 2050 minskar med 20% från "Kyotonivån"<sup>10</sup>. Samtidigt har vi begränsat utsläppen från övriga sektorer med nationella bubblor som maximalt tillåter de utsläpp som beräkningarna med dagens skatter och utan utsläppsbegränsningar gav för dessa sektorer. Beräkningarna har vi sedan gjort med och utan skatter. Anledningen till att vi begränsat utsläppen från sektorerna som inte omfattas av utsläppshandeln är att vi bedömt det som ologiskt att utsläppen skulle tillåtas öka relativt utgångsläget då utsläppskraven skärps för övriga delar av energisystemet. Det är

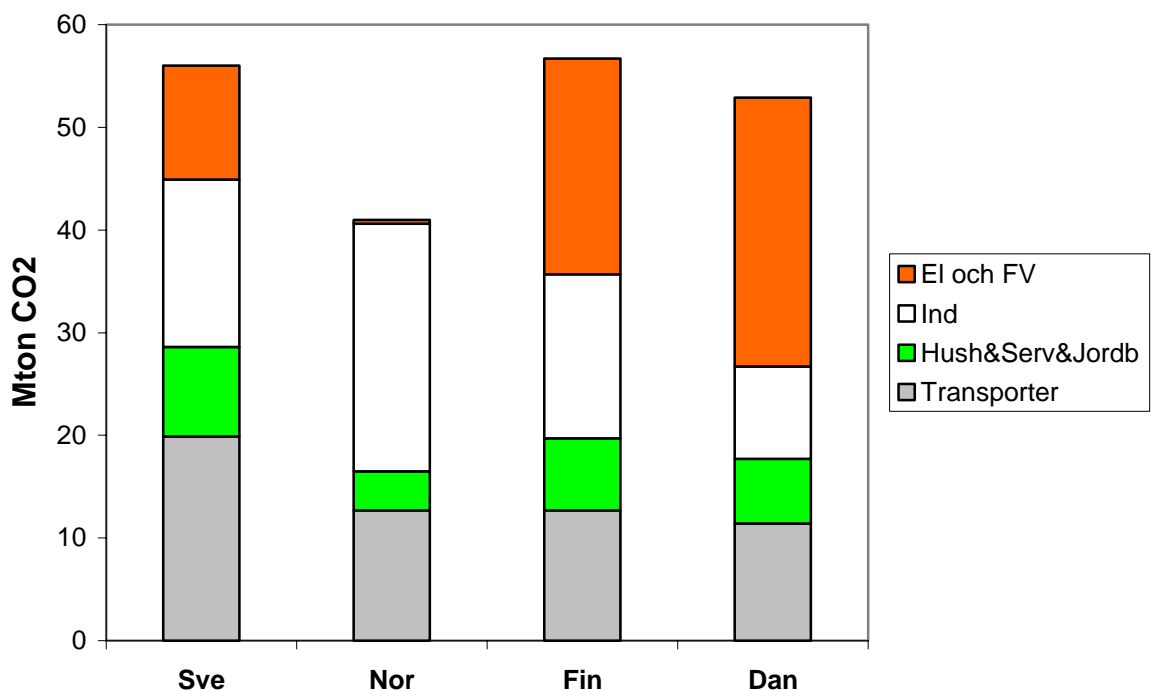
---

<sup>10</sup> -20% avser hela energisystemet. Eftersom sektorerna utanför bubblan inte minskar sina utsläpp med 20% innebär detta att utsläppsbubblan minskar mer, ca -25%.

fortfarande en öppen fråga hur stort utsläppsutrymme som respektive land kommer att ge till de sektorer som omfattas av utsläppshandelssystemet. Vår ansats skall alltså endast ses som en av många möjligheter.

Vi studerar av praktiska skäl alltså inte ett utsläppshandelssystem som omfattar hela EU, utan använder istället vår Norden-databas för att analysera de principiella konsekvenserna av ett sådant system.

Inledningsvis visar vi de verkliga koldioxidutsläppen i Norden 1999, fördelat på de aktuella sektorerna, figur 12.



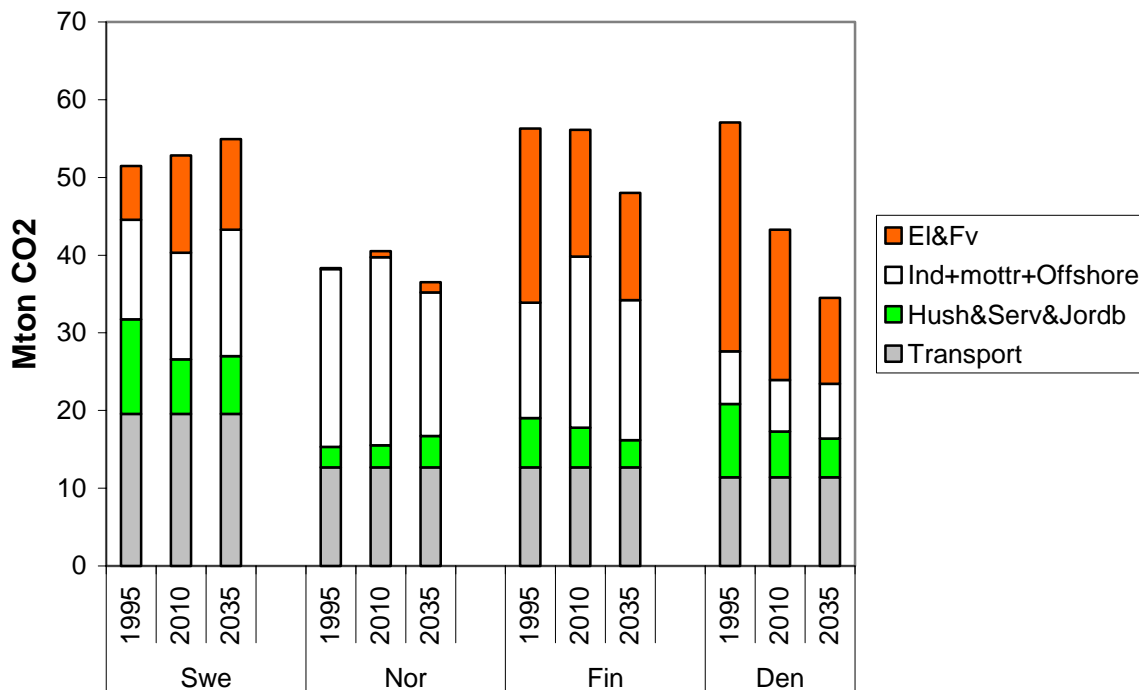
Figur 12: Verkliga utsläpp i Norden 1999, fördelat på land och sektorer (Källa: Energimyndighetens Energiläget 2001, Statistisk sentralbyrå, Energistyrelsen, Statistics Finland, m.fl.)

Av figuren framgår att 60% av de totala koldioxidutsläppen kan hänföras till det som vi betraktar som ingående i utsläppshandelssystemet. Störst andel har dessa sektorer i Danmark, 67%, medan andelen är lägst i Sverige, 49%. Det är alltså en stor del av energisystemet i Norden som skulle omfattas av ett utsläppshandelssystem, men man kan samtidigt konstatera att omfattningen på energiomvandlingen i sektorer utanför systemet också är stor och att strategin för denna del av energisystemet är nästan lika betydelsefull.

Figur 13 visar koldioxidutsläppens utveckling i de fyra studerade länderna. Beräkningarna är gjorda utan skatter i de sektorer som omfattas av utsläppshandelssystemet. Vi påminner oss om att de totala utsläppen från



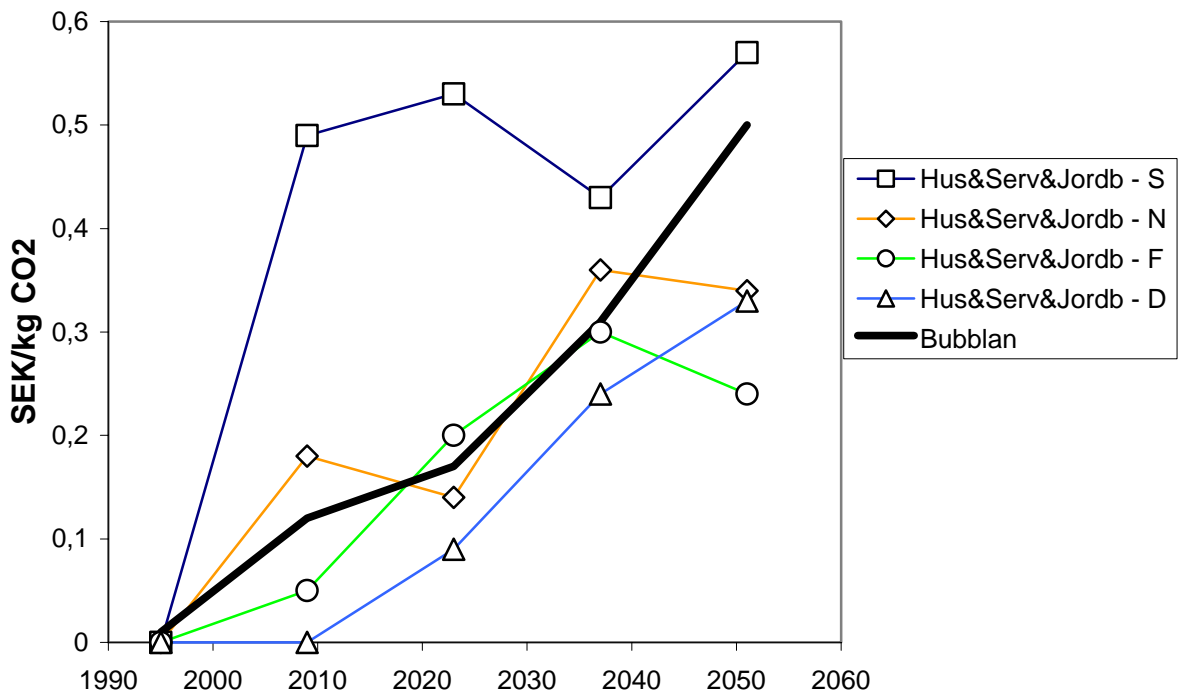
sektorerna el- och fjärrvärmeproduktion samt industrisektorn totalt skall minska med 20% relativt Kyoto-nivån till 2050. Utsläppen för övriga sektorer är landvis begränsade till den nivå som beräkningen med dagens skatter ger.



Figur 13: Koldioxidutsläpp vid en nordisk utsläppsbubbla för koldioxid med 20% reduktion till år 2050, utan dagens skatter inom bubblan. (Utsläppsbubblan omfattar sektorer enligt EU-direktiv från oktober 2001)

När anpassningen tillåts ske på effektivaste sätt i Norden, utan hänsyn till ländernas egna utsläppsåtaganden, kommer alltså utsläppen från de berörda sektorerna att öka i Sverige. I Norge ligger utsläppen i huvudsak stilla, medan utsläppen i Finland och framför allt i Danmark minskar. Av utsläppen från sektorerna el- och fjärrvärmeproduktion i Sverige kommer i princip inget från kondensproduktion. Den mest kostnadseffektiva anpassningen förefaller vara att kol i kondenskraftverk i Danmark och Finland ersätts med naturgaskraftvärme. Man kan anta att liknande tendenser skulle kunna iakttas om man istället hade tillämpat ett utsläppshandelssystem inom hela EU.

Ett av de mest intressanta resultaten från beräkningarna med "EU-bubblan" är skuggpriset på begränsningsekvationen för utsläppen från el- och fjärrvärmeproduktion samt industrisektorn. Detta skuggpris kan översättas till priset på utsläppsrätter för det aktuella utsläppshandelssystemet. I figur 14 redovisas utvecklingen av priset på utsläppsrätter. Dessutom redovisas skuggpriset på begränsningen av de nationella koldioxidutsläppen från sektorn bostäder, service och jordbruk (som ju inte omfattas av "EU-bubblan").



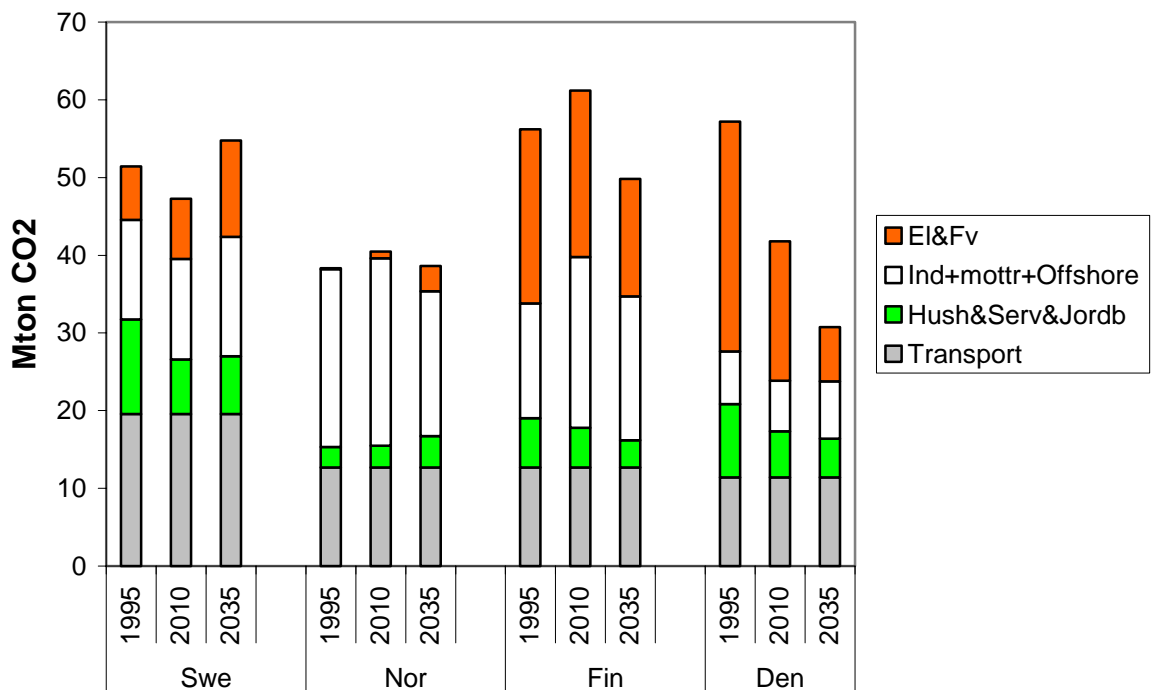
Figur 14: Skuggpriser för utsläppsbegränsningen vid beräkning med "EU-bubblan", utan dagens skatter

Av figuren framgår att priset på utsläppsrätter stiger nästan linjärt till år 2050. År 2020 har priset nått upp till 15 öre per kg CO<sub>2</sub>. Därefter fortsätter utsläppsrättspriset att stiga för att nå 50 öre per kg CO<sub>2</sub> år 2050. På kort sikt är det alltså inga astronomiska utsläppsrättspriser som krävs för att klara den förutsatta utsläppsreduktionen. Jämfört med idag är dock nivåerna höga, eftersom detta i stor utsträckning är sektorer med rejäla skattenedsättningar, eller inga skatter alls.

I figuren redovisas också skuggpriserna på de nationella utsläppsbegränsningarna för sektorerna bostäder, service och jordbruk. Detta kan förenklat översättas till den koldioxidskatt som skulle behövas för att hålla utsläppen under den tillåtna nivån. Nivån på skuggpriset bör på kort sikt i någon mån avspejla dagens skatter inom de aktuella sektorerna, eftersom den aktuella utsläppsnivån erhöles vid beräkningar med dagens skatter. På sikt är det dock rimligt att skuggpriserna stiger över denna nivå, eftersom den utsläppsreduktion som vi lägger på el- och fjärrvärmeproduktion och industrin indirekt påverkar övriga delar av energisystemet. Exempelvis fördyras elproduktionen, vilket medför att el som uppvärmningsform inom bostäder och service blir en dyrare anpassningsåtgärd för att reducera utsläppen.

Skuggpriset är klart högst i Sverige. Här bibehålls den redan höga nivån under hela perioden. I övriga länder stiger skuggpriset från en låg nivå till en nivå som mot slutet av perioden närmar sig den svenska.

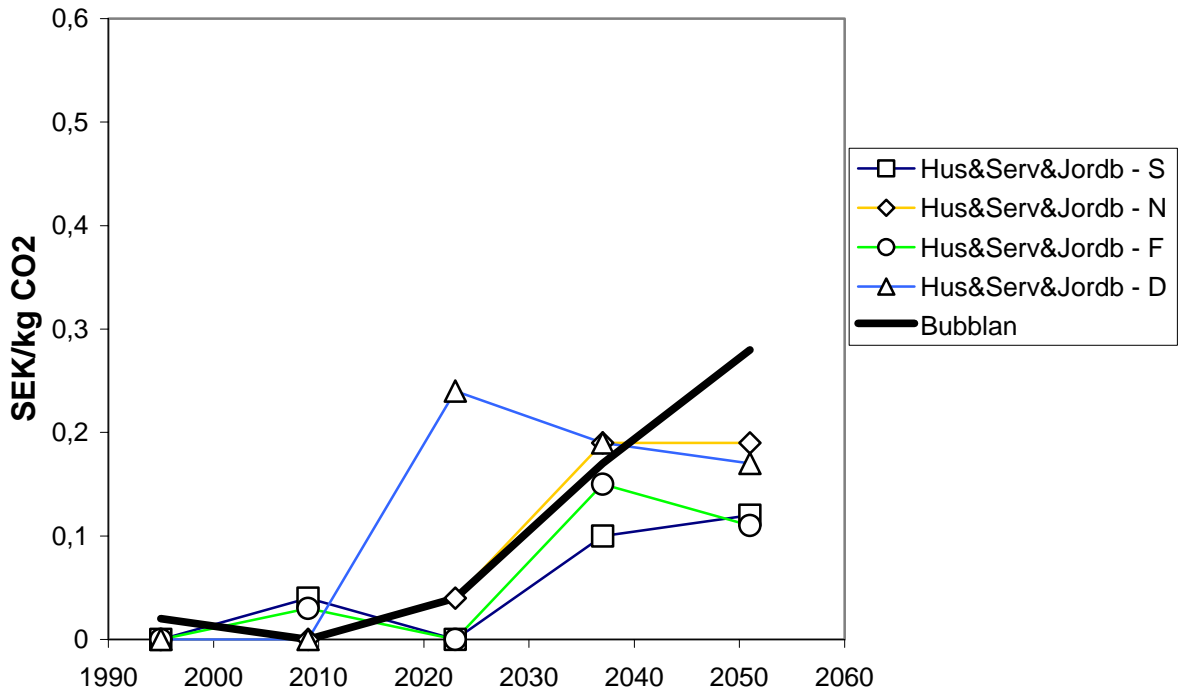
Om vi gör motsvarande beräkning, men bibehåller dagens skatter inom sektorerna där utsläppshandel tillämpas, figur 15, får vi en likartad utveckling. En skillnad är dock att vi på kort sikt får mindre utsläpp från svensk el- och fjärrvärmeproduktion. Orsaken är att dagens skatter gör naturgaskraftvärme olönsam och den aktuella produktionen hamnar istället i Finland. Som vi tidigare diskuterat är egentligen beräkningarna med tillämpning av både en utsläppsbubbla och dagens skatter mindre intressanta, eftersom de medför en viss suboptimering av utsläppsbegränsningarna, där en omotiverat stor del av anpassningarna genomförs i sektorer med hög skattebelastning.



Figur 15: Koldioxidutsläpp vid en nordisk utsläppsbubbla för koldioxid med 20% reduktion till år 2050, med dagens skatter. (Utsläppsbubblan omfattar sektorer enligt EU-direktiv från oktober 2001.)

Om dagens skatter bibehålls framgår att priset på utsläppsrätter för ”EU-bubblan” på kort sikt blir mycket lågt, figur 16. Det är först på längre sikt, efter 2020 som priset stiger markant. Då ansträngs systemet av allt snävare utsläppsreduktion, ökande energiefterfrågan och svensk kärnkraftavveckling. Fram till år 2020 räcker nästan dagens skatter för att klara utsläppsbegränsningen, trots att delar av energiomvandlingen inom bubblan är helt undantagen från skatter.

Ungefär samma resonemang kan tillämpas på skuggpriserna för de nationella utsläpps begränsningarna i sektorerna bostäder, service och jordbruk. Även där är skuggpriserna inledningsvis mycket låga. Det är först på lång sikt som de stiger. Ett undantag är Danmark där skuggpriset på halvlång sikt, år 2020, stiger kraftigt.

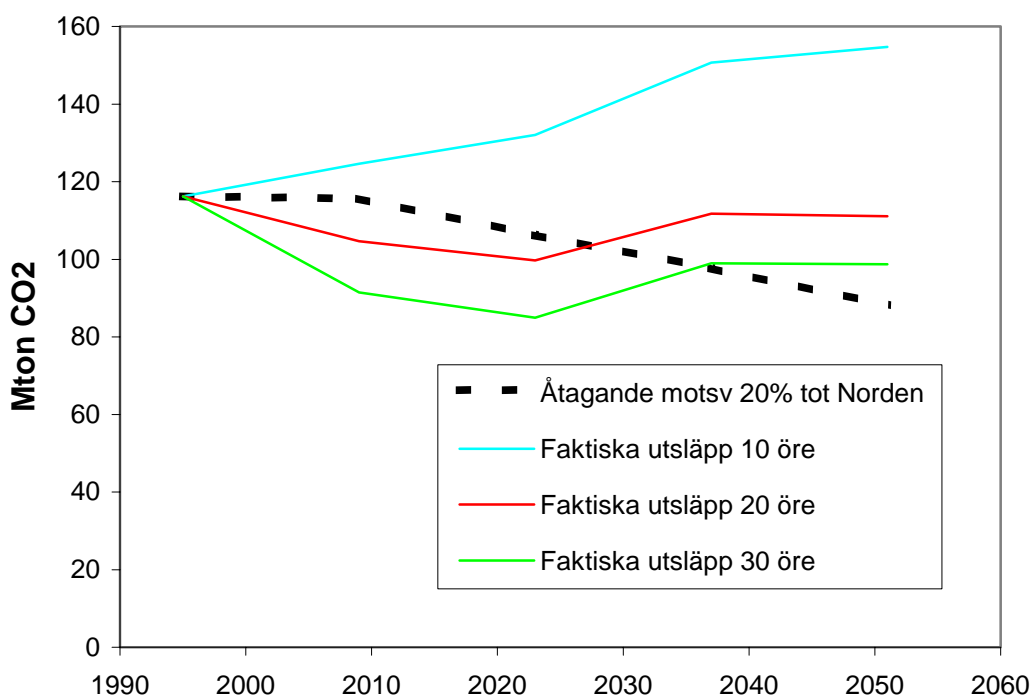


Figur 16: Skuggpriser för utsläpps begränsningen vid beräkning med "EU-bubblan", med dagens skatter

I de beräkningar vi redovisat hittills i detta avsnitt har "EU-bubblan" endast omfattat Norden som geografiskt område. I verkligheten skulle EU:s förslag till utsläppshandel omfatta samtliga 15 EU-länder. Eftersom flera av dessa länder är stora, med stor energiomsättning skulle förhållandena i Norden få underordnad betydelse. Som vi diskuterat tidigare är det inom ramen för detta projekt helt omöjligt att utvidga databasen till att omfatta även resten av EU. Vi väljer istället att se på möjliga konsekvenser av det större området genom att, liksom i vissa tidigare beräkningar, erbjuda den nordiska utsläppsbubblan för el- och fjärrvärmeproduktion samt industri utsläppsrätter till ett exogent pris. Vi har då testat konsekvenserna av det externa utsläppsrättspriset 10, 20 respektive 30 öre/kg CO<sub>2</sub>. Resultaten framgår av figur 17.

Liksom tidigare kan vi konstatera att det tänkta utsläppsåtagandet för Norden helt kommer att sakna betydelse för de verkliga utsläppen från de aktuella sektorerna. Åtagande påverkar endast huruvida utsläppsrätter kommer att köpas eller säljas och kvantiteterna som köps/säljs, respektive åtgärdas inom systemet. Av figuren

framgår att de aktuella sektorerna på lång sikt blir köpare av utsläppsrätter vid utsläppsreduktionsmålet –20%. I fallet med utsläppsrättspriset 10 öre/kg CO<sub>2</sub> blir Norden köpare under hela perioden. I fallen med priset 20 och 30 öre/kg CO<sub>2</sub> däremot, är Norden inledningsvis säljare av utsläppsrätter och inte förrän 2025 – 2035 växlar man till att bli köpare.



Figur 17: Koldioxidutsläpp i Norden från de sektorer som omfattas av utsläppsbubblan, vid en utsläppsreduktion med 20% till år 2050 och med tillgång till ”externa utsläppsrätter” till olika priser. (Utsläppsbubblan omfattar sektorer enligt EU-direktiv från oktober 2001.) Beräkningar utan dagens skatter.



## 7. Alternativa nivåer på koldioxidskatten

Det svenska skattesystemet inom energiområdet, främst energiskatt och koldioxidskatt, präglas av mycket höga skattenivåer kombinerat med många nedsättnings- och undantagsregler. De höga skatterna kan förklaras med höga ambitioner beträffande utsläpps begränsning, men rent fiskala skäl är också viktiga. Exempel på områden som undantas helt från energi- och koldioxidskatt är elproduktion, medan industrin har kraftigt reducerade skattenivåer. Skattenedsättning och skatteundantag förklaras med internationell konkurrens. Alla länder som tillämpar höga energi- och miljöskatter har, av samma skäl, liknande nedsättningsregler.

Nedsättningsreglerna leder till suboptimeringar med avseende på utsläppsreduktion och resurshushållning. Orsaken är att man inom områden med nedsatta skattenivåer avstår från åtgärder som totalt sett skulle vara kostnadseffektiva, medan onödigt dyra åtgärder tas i anspråk inom sektorer med höga skatter.

Det är inte heller någon framkomlig väg att helt ta bort nedsättningar och undantag. Det skulle slå ut hela industrisektorer i Sverige och verksamheterna skulle med stor sannolikhet flytta till länder där de orsakar väl så stora utsläpp. Utöver de miljömässiga nackdelarna skulle det också leda till stora ekonomiska avbräck.

Vi har en hypotes om att man ganska snart kommer till en gräns för meningsfulla nivåer på skatterna om samtidigt omfattande nedsättningar och undantag tillåts. Det skulle till och med kunna bli så att de totala utsläppen av t.ex. koldioxid ökar till följd av höjd koldioxidskatt.

Vi illustrerar vår hypotes med följande enkla exempel:

#### *Elvärme kontra oljevärme*

Elproduktion är fri från energi och koldioxidskatt. På el finns dock en konsumtionsskatt på el. Samtidigt belastas fossila bränslen med mycket höga skatter vid användning i bostäder och lokaler. Skatten på olja är högre än skatten på el. Samtidigt är omvandlingsförlusterna i användarledet högre för olja än för el. Uppvärmningssystemet är dessutom krångligare och dyrare i fallet oljeuppvärmning. Däremot är olja som produkt avsevärt billigare än el. Totalt sett medför detta att elvärme i många fall ger en lägre kostnad och därför väljs. Skatterna uppmuntrar alltså till detta. Om man antar att elproduktionen på marginalen består av kolkondens får vi följande koldioxidutsläpp från en MWh nyttig värme:

- El:  $93 \times 3,6 / 0,35 = 1$  ton CO<sub>2</sub>
- Olja:  $78 \times 3,6 / 0,70 = 0,4$  ton CO<sub>2</sub>

Höjd koldioxidskatt skulle alltså stimulera användningen av elvärme på bekostnad av oljevärme, vilket skulle kunna få till följd att de totala koldioxidutsläppen ökar.

För att testa vår hypotes har vi gjort en serie MARKAL-beräkningar med gradvis högre koldioxidskatt. Vi har gjort beräkningarna för Norden, men det principiella utseendet är detsamma för Sverige. Följande fall har beräknats:

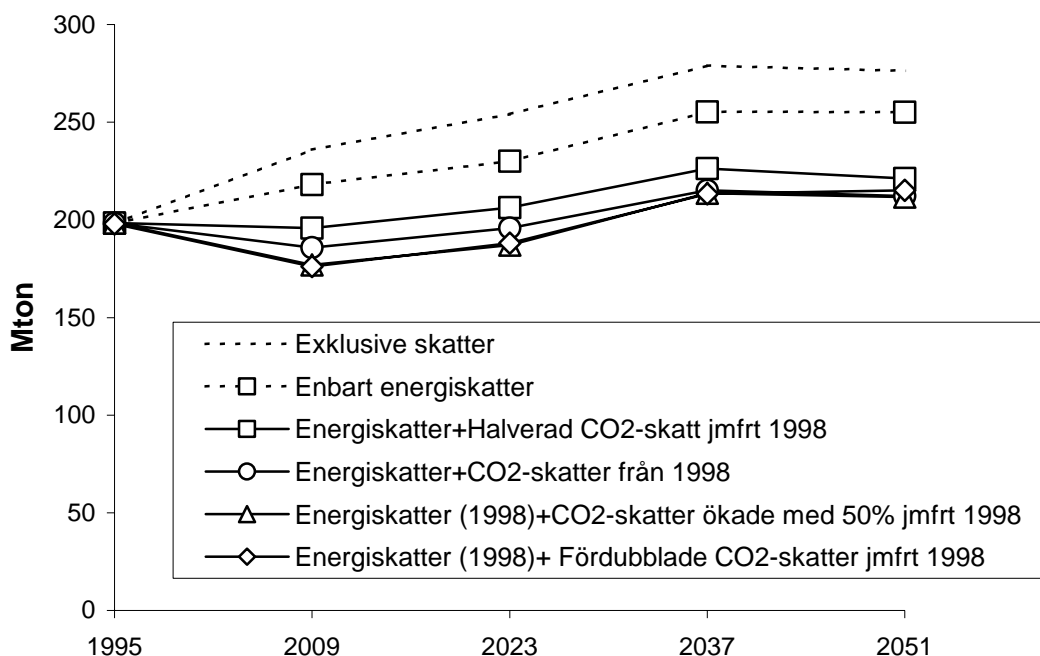
- ▶ Inga skatter
- ▶ Energiskatt och elskatt, men inga koldioxidrelaterade skatter
- ▶ 50% av 1998 års koldioxidskatter (+ energiskatt och elskatt)
- ▶ Koldioxidskatt 1998 (+ energiskatt och elskatt)
- ▶ 50% ökade koldioxidskatter jämfört med 1998 (+ energiskatt och elskatt)
- ▶ Dubbelt så hög koldioxidskatt som 1998 (+ energiskatt och elskatt)

Effekten på de totala koldioxidutsläppen av de olika skattefallen framgår av figur 18. I fallet utan skatter stiger koldioxidutsläppen i hög och jämn takt. Redan i fallet med energi- och elskatt dämpas koldioxidutsläppen markant. Detta sker alltså trots att skatten här inte fokuserar på koldioxid. Förklaringen är att kostnaden för energi allmänt ökar, vilket leder till att energisparande stimuleras. Dessutom drabbar energiskatten fossila bränslen och inte biobränslen, vilket leder till att biobränsle stimuleras på bekostnad av fossila bränslen.

När halv koldioxidskatt adderas sjunker utsläppen ytterligare. När koldioxidskatten dubblas, upp till 1998 års nivå, blir utsläppen ännu mindre, men minskningen är mindre tydlig än vid den första koldioxidskattenivån. När koldioxidskatten ökas med ytterligare 50% blir utsläppen på riktigt lång sikt i princip oförändrade. Under de närmaste 20 åren ger dock skattehöjningen viss effekt. Ökas koldioxidskatten ytterligare, till en fördubbling jämfört med 1998 års nivå, blir utsläppen oförändrade på kort och medellång sikt. På riktigt lång sikt, från och med år 2037, blir det till och med en liten ökning av utsläppen till följd av de ökade skatterna! Därmed kan beräkningarna sägas verifiera misstanken om



vad kombinationen av mycket höga koldioxidskatter och sektorer som undantas från dessa skatter kan leda till.



Figur 18: Totala koldioxidutsläpp i Norden vid gradvis högre koldioxidskatt

I beräkningarna har vi utgått från de nordiska koldioxidskatterna år 1998. I Sverige uppgick dessa 1998 till 37 öre/kg CO<sub>2</sub>. Koldioxidskatten har sedan 1998 ökat med hela 70%, från 1998 till 2002. Det betyder att koldioxidskatten i Sverige idag ligger mellan de nivåer som ges av ”CO<sub>2</sub>-skatter ökade med 50 %” och ”fördubblade CO<sub>2</sub>-skatter”. Mycket talar alltså för att vi redan ligger nära den gräns där ökade skatter slutar ha effekt på utsläppens storlek så länge som undantagsregler och nedsättningar av skatt kvarstår.

I våra beräkningar ingår tekniska sparåtgärder för uppvärmning och övrig elanvändning som kan minska energibehovet då energipriserna stiger. Beräkningarna innehåller dock inte någon anpassning av nettoenergiebehovet till följd av stigande energipriser. Exempel på detta är att man väljer att sänka inomhustemperaturen från 20°C till 19°C. De stigande energipriserna som de allt högre koldioxidskatterna ger, skulle i verkligheten kunna påverka energiefterfrågan även genom att nettoenergiebehovet minskar. Denna effekt ingår alltså inte i beräkningarna.



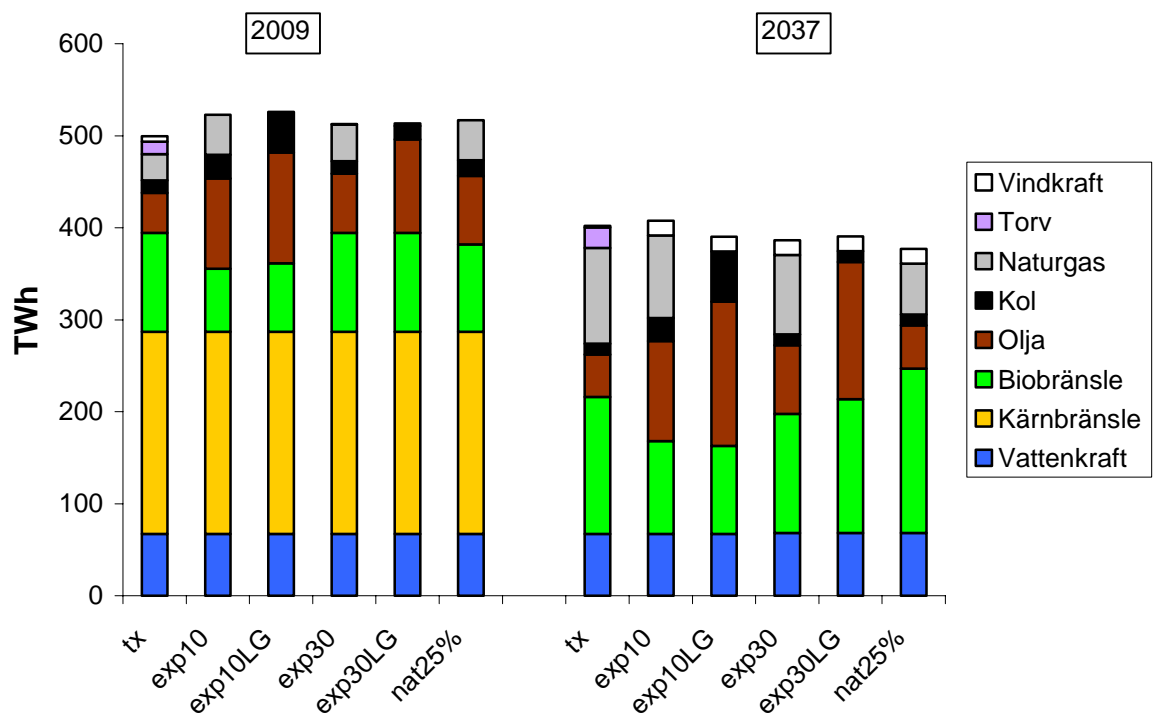
## 8. Naturgasens roll i det framtida svenska energisystemet

I många av de beräkningar som redovisas i denna rapport är naturgasens förutsättningar av avgörande betydelse för energisystemets utveckling. Vi har därför gjort känslighetsanalyser där naturgaspris och möjlighet till utbyggnad av naturgastransmissionen varierats. Beräkningarna omfattar energisystemen i hela Norden och de olika beräkningsfallens parametervariationer genomförs i alla länderna. I resultatredovisningen koncentrerar vi oss dock på de Svenska förhållandena.

Naturgaspriset är helt naturligt av stor betydelse för hur attraktiv naturgasen blir i Sverige på sikt. I de allra flesta beräkningarna har vi antagit ett importpris på naturgas på 70 kr/MWh. Utöver importpriset tillkommer dessutom kostnader för transmission och distribution innan gasen når slutanvändaren. Antar man istället ett naturgaspris på 130 kr/MWh blir effekten att gasen inte alls efterfrågas. Detta gäller åtminstone för de beräkningsfall som ingår i denna känslighetsanalys.

Hur stor blir då naturgasanvändningen i olika beräkningsfall? För att svara på denna fråga har vi sammanställt resultaten från ett antal beräkningsfall som gjorts inom ramen för det aktuella projektet. Figur 19 visar totalt tillförd energi till det stationära energisystemet i Sverige. Beteckningarna i diagrammet har följande innebörd:

- ▶ tx: dagens skatter
- ▶ exp10: utsläppsrättshandel med prisnivån 10 öre/kg CO<sub>2</sub>
- ▶ exp10LG: utsläppsrättshandel med prisnivån 10 öre/kg CO<sub>2</sub>, gaspris 130 kr/MWh
- ▶ exp30: utsläppsrättshandel med prisnivån 30 öre/kg CO<sub>2</sub>
- ▶ exp30LG: utsläppsrättshandel med prisnivån 30 öre/kg CO<sub>2</sub>, gaspris 130 kr/MWh
- ▶ nat25%: nationell utsläppsbubbla för CO<sub>2</sub> där utsläppen reduceras med 25% till år 2050



Figur 19: Totalt tillförd energi till det stationära energisystemet i Sverige för ett antal beräkningsfall

Av figuren framgår att det, som tidigare konstaterats att det högre naturgaspriset leder till att gasen helt försvinner från det svenska energisystemet i fallen med utsläppsriktpriset 10, respektive 30 öre/kg CO<sub>2</sub>. I övriga fall (med ett lägre naturgaspris) hamnar naturgasanvändningen på 30 – 40 TWh år 2009 och hela 60 – 100 TWh på mycket lång sikt (år 2037).

Figuren visar också att naturgasanvändningen är lika stor i fallen med utsläppsriktpriset 10 öre/kg CO<sub>2</sub> och 30 öre/kg CO<sub>2</sub>. Vid det högre priset på utsläppsrikterna är de svenska utsläppen mindre. Detta åstadkoms genom att minska användningen av kol och olja, medan biobränsleanvändningen är större (och naturgasanvändningen är oförändrad).

En frågeställning som ibland dyker upp är kopplingen mellan gasens attraktivitet i Norden vid nationella utsläppsåtaganden kontra gemensamma utsläppsåtaganden (t.ex. via utsläppshandel). För svensk del kan man konstatera att ett strängt nationellt utsläppsåtagande begränsar våra möjligheter att utnyttja stora mängder naturgas. Orsaken är att vi redan har mycket små utsläpp av koldioxid i Sverige. Detta medför att det blir svårt att introducera ytterligare fossila bränslen, även om de skulle kunna bidra till att minska de globala utsläppen (t.ex. genom att svensk kraftvärme ersätter dansk kolkondens). Detta förhållande har Profu påtalat många gånger. Man kan formulera det ungefär så här: alltför stor fokusering på att

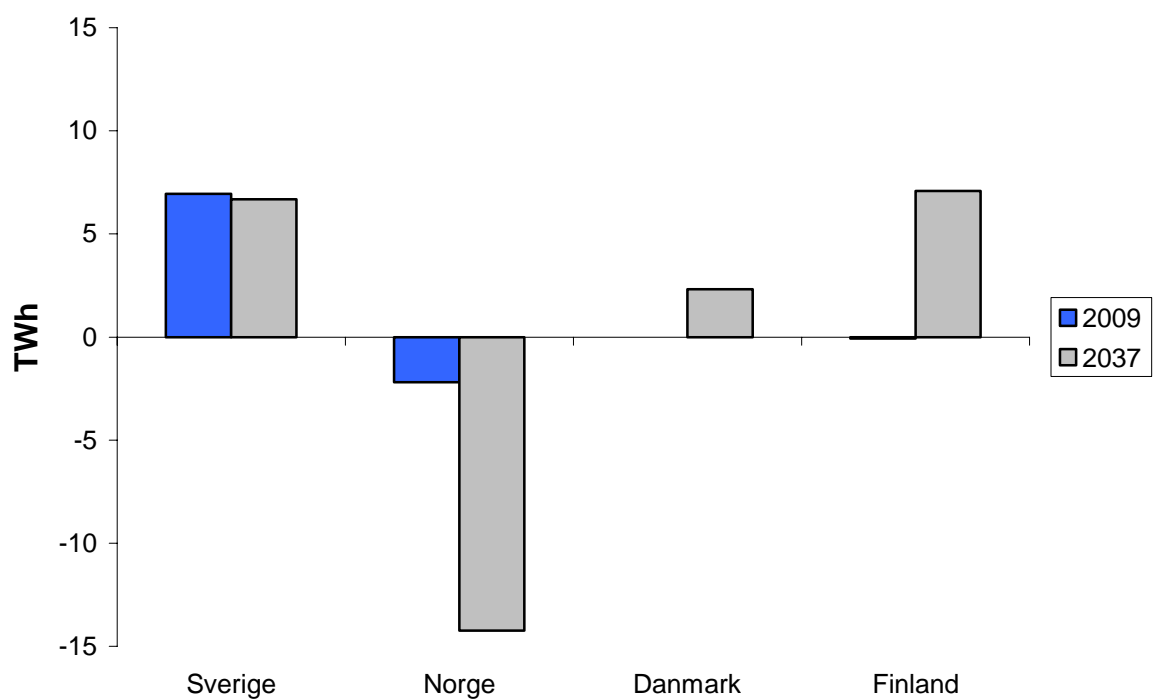
minimera utsläppen inom landet kan försvåra kostnadseffektiv begränsning av globala utsläpp.

Det är dock inte självklart att nationella åtaganden minskar möjligheterna att utnyttja naturgas. För vissa andra länder kan man iaktta det motsatta, d.v.s. användningen av naturgas blir större i fallet med nationella åtaganden än i fallet med gemensamt åtagande. Anledningen är att ett land som har ett jämförelsevis stort utsläppsutrymme kan använda naturgas för att fasa ut kol från kraftproduktion. I ett fall med gemensamt åtagande ökar trycket på att minska utsläppen. Då kan delar av naturgasen ersättas med förnybara energislag. Det är alltså inget ”universellt” resultat att utsläppshandel krävs för att naturgas skall få en kraftigt ökad roll i energiförsörjningen. För Sverige finns dock denna tendens.

En annan frågeställning med koppling till naturgasens betydelse för energisystemets utveckling är elproduktionens storlek i respektive land, med respektive utan möjligheten att bygga ut naturgastransmissionen i Norden och vid olika gemensamma koldioxidåtaganden. Figur 20 visar skillnaden i elproduktionen vid utbyggd naturgasledning, jämfört med motsvarande fall utan utbyggd gasledning, vid en nordisk koldioxidrestriktion på –5%.

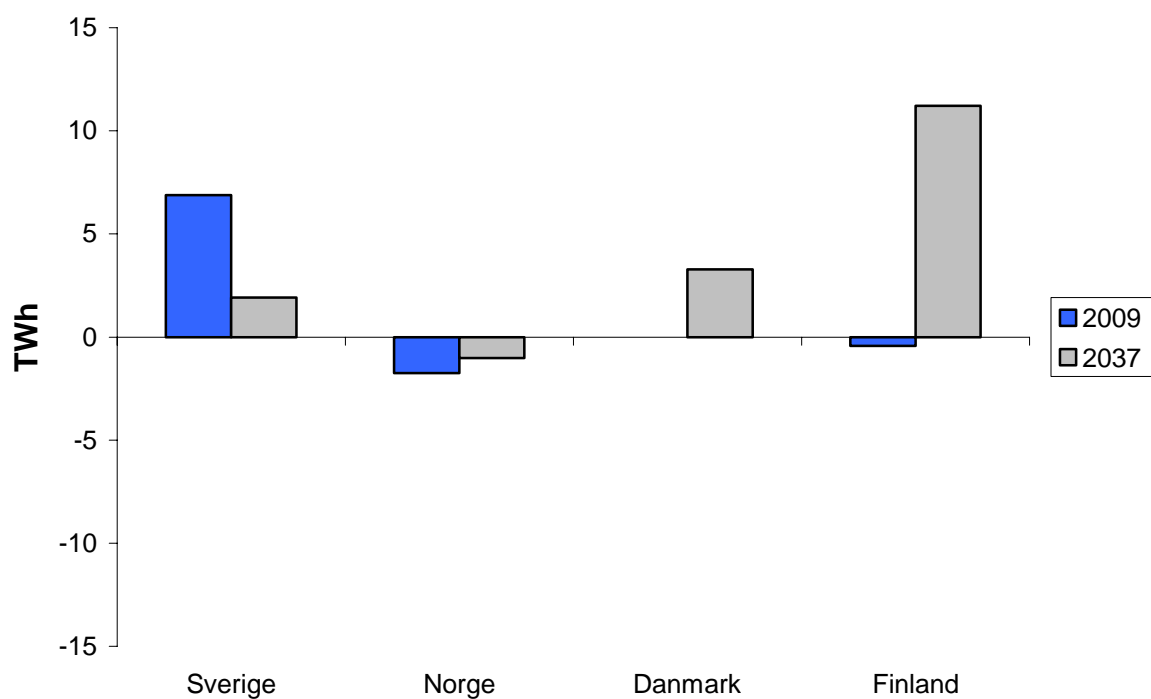
Av figuren framgår att elproduktionen i Sverige blir större i fallet då naturgas tillåts öka, utöver dagens tillförselkapacitet. Elproduktionen blir ca 7 TWh större, både på kort och på lång sikt. På kort sikt är det främst i Sverige som en skillnad kan identifieras. Tillgången till naturgas gör det alltså attraktivt att förlägga mer elproduktion i Sverige. En orsak till detta är att naturgaskraftvärme med högt elutbyte möjliggörs. Man kan notera att elproduktionens storlek och fördelning med, respektive utan utbyggd naturgasledning inte är något ”nollsummespel”. Vid utbyggd naturgasledning blir elproduktionen totalt i Norden större än då naturgasutbyggnaden inte är tillåten. Förklaringen är sannolikt att elpriset blir något lägre, vilket gör elen mer konkurrenskraftig.

På mycket lång sikt ger däremot en utbyggnad av naturgastransmissionen i Norden relativt stora konsekvenser på elproduktionens storlek för alla länder. Som vi redan identifierat ökar elproduktionen i Sverige. På lång sikt ger också naturgasledningen ökad elproduktion i Finland och Danmark. Motsatt förhållande gäller för Norge där elproduktionen minskar kraftigt då ökad naturgastransmission tillåts. Orsaken är att den norska gasen då i stor utsträckning exporteras. Då ökad naturgastransmission inte tillåts kommer denna gas att istället utnyttjas för elproduktion i norska kondenskraftverk.



*Figur 20: Elproduktion vid utbyggd naturgasledning, jämfört med ett fall utan utbyggd gasledning, nordisk koldioxidrestriktion på -5%*

Figur 21 visar motsvarande resultat för ett fall med en nordisk koldioxidrestriktion på -25%.



*Figur 21: Elproduktion vid utbyggd naturgasledning, jämfört med ett fall utan utbyggd naturgasledning, nordisk koldioxidrestriktion på -25%*

Tendenserna är i huvudsak desamma som i fallet med måttligare utsläppsrestriktioner. Ökad naturgastransmission ger alltså fortfarande ökad elproduktion i Sverige. En skillnad är att den ökade naturgastransmissionen inte ger någon tydlig minskning av elproduktionen i något land.





## 9. Marginalkostnader för koldioxidreduktion i Sverige och övriga nordiska länder

Marginalkostnaden för koldioxidreduktion är kostnaden för att reducera utsläppen av koldioxid med ytterligare en enhet. Detta motsvarar marknadspriset på en utsläppsrätt, d.v.s. det pris man är beredd att betala för att få släppa ut ytterligare en enhet. Alternativt är detta storleken på den koldioxidskatt som ska införas i samtliga sektorer om man önskar uppnå en på förhand given utsläppsnivå.

Storleken på marginalkostnaden är naturligtvis mycket avhängig av hur mycket koldioxid som skall reduceras, vid vilken tidpunkt som man gör sin betraktelse (idag eller om tio år) och hur stort system som omfattas av koldioxidåtagandet. Är det exempelvis enbart Sverige det rör sig om eller är det hela Norden som omfattas av ett gemensamt åtagande? Dessutom påverkas kostnadsbilden av de tekniker som ingår i analysen. Exempelvis minskar marginalkostnaderna för att reducera koldioxid om man utgår ifrån relativt sett höga fossilbränslepriser jämfört med om man utgår ifrån relativt sett låga priser. Merkostnaden för att använda icke-fossila bränslen blir ju därmed mindre.

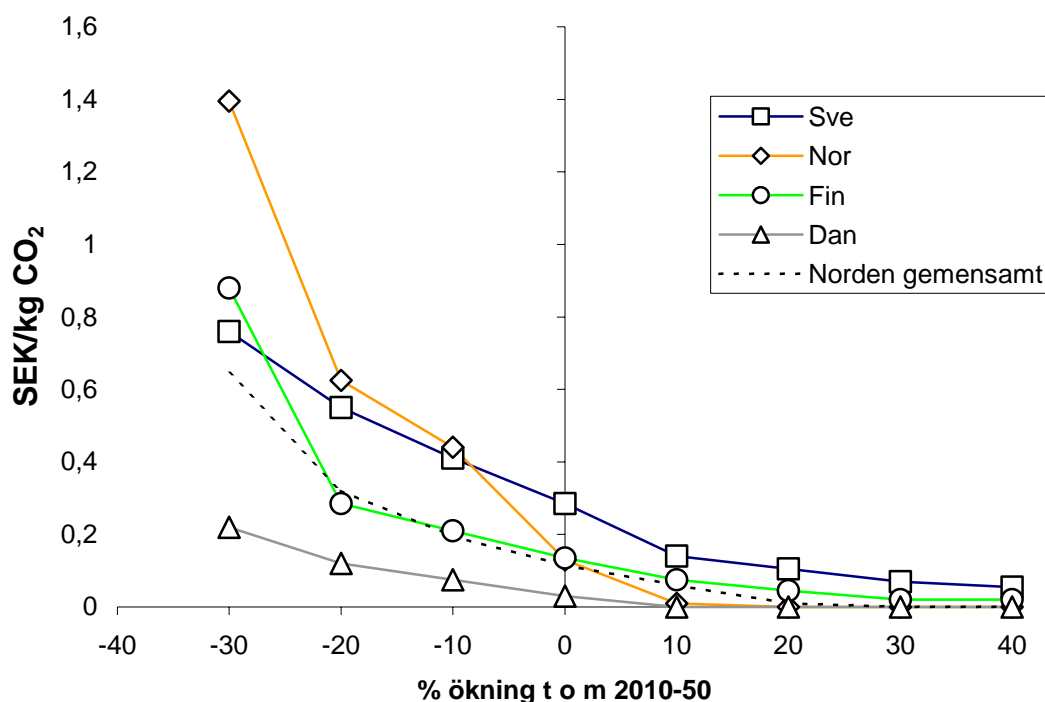
Att studera marginalkostnadskurvor, d.v.s. marginalkostnaden som funktion av utsläppsbegränsningens storlek, ger en god bild av de kostnader ett land kommer att drabbas av för att uppnå givna koldioxidmål och hur dessa kostnader förhåller sig till andra länders. I figur 22 illustreras detta för de fyra nordiska länderna Sverige, Norge, Danmark och Finland. Figuren är ett resultat av MARKAL-körningar med den nordiska databasen som omfattar hela det stationära energisystemet i Norden. Man inser snabbt att marginalkostnaderna generellt är högre i länder som Norge och i synnerhet Sverige medan de är lägre i länder som Finland och Danmark. Förklaringen är naturligtvis att de två senare länderna initialt har en högre fossil andel i sina energisystem, varför en minskning är mindre påfrestande än för länder som har en avsevärt mindre andel fossilt inslag. Om det fossila inslaget dessutom är högt i sektorer som el- och fjärrvärmeproduktion är möjligheterna än mer gynnsamma att relativt billigt minska utsläppen. (Inom dessa sektorer finns ju många alternativ med förnybar energi tillgängliga till måttliga kostnader. Inom transportsektorn är det avsevärt dyrare att minska andelen fossil energi.)

Figuren visar också att en ökning av utsläppen på maximalt 40 %<sup>11</sup> år 2010 jämfört med basåret 1995 medför kostnader för Sverige, men inte för de andra

---

<sup>11</sup> Utsläppsminskningarna är införda som konstanta åtaganden fr.o.m. 2010 t o m 2050. Ett åtagande på ex -20 % betyder m a o att en utsläppsminskning på 20 % år 2010 jämfört med 1995 tvingas in. Denna utsläppsminskning ligger sedan kvar på samma nivå ända fram till 2050. P g a

länderna (utom marginellt för Finland). Detta betyder att om inga åtgärder<sup>12</sup> görs blir den svenska utsläppsökningen större än 40 %. Detta beror bland annat på den antagna kärnkraftsavvecklingen som påbörjas under den studerade perioden, och att frånvaron av skatter i analysen bidrar till en ökad oljeanvändning för hushållsuppvärmning. I Danmark exempelvis, skulle motsvarande utsläppsökningen utan åtgärder bli avsevärt lägre, ca +10%. Man kan även notera att en stabilisering av utsläppen i Sverige på 1995 års nivå leder till en marginalkostnad på omkring 30 öre per kg CO<sub>2</sub> mellan 2009 och 2023. Detta motsvarar ungefär hälften av dagens koldioxidskatt (ca 62 öre per kg CO<sub>2</sub>). Detta är förmodligen ungefär den ”effektiva” skattenivån i Sverige idag, om man tar hänsyn till de skattenedsättningar som tillämpas för vissa sektorer.



Figur 22: Marginalkostnaden som funktion av utsläpps begränsning, mätt som procentuell förändring år 2010 jämfört med basåret 1995. Marginalkostnaden utgörs av ett medelvärde för tiden 2009-2023.

Om istället åtagandet omfattar hela det nordiska systemet och inte land för land så erhålls en marginalkostnadskurva som ligger någonstans mitt emellan de enskilda ländernas (illustreras av den streckade svarta kurvan i figur 22). Därmed får också alla länder ett gemensamt pris på utsläppsrätter om ett sådant system skulle införas. Detta leder till att Sverige och Norge minskar sina marginalkostnader

att energisystemet utvecklas över tiden (exempelvis ökar generellt sett energiefterfrågan) ändras marginalkostnaden för koldioxidreduktion trots att begränsningen är konstant under tiden 2010-50.  
<sup>12</sup> Dessa körningar är gjorda helt utan existerande skatter. Detta för att bättre illustrera de faktiska kostnaderna i energisystemet av minskade utsläpp.

medan i synnerhet Danmark ökar sina. Sverige och Norge fungerar därför alltså i huvudsak som nettoköpare av utsläppsrätter medan Danmark säljer utsläppsrätter.

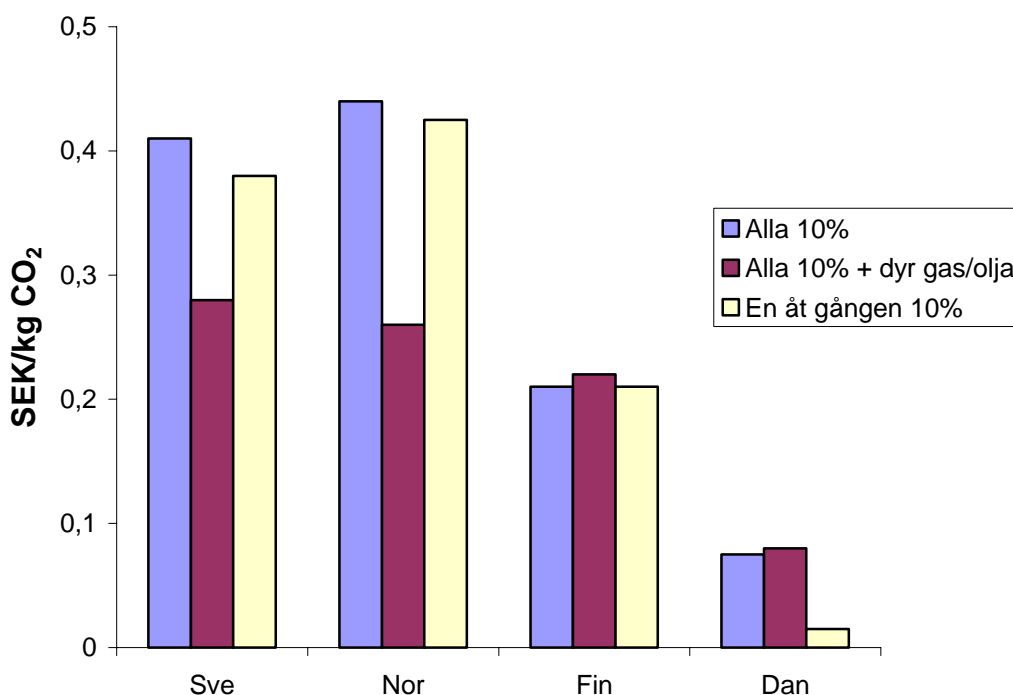
Värt att notera är också att Norges möjligheter att sänka utsläppen vid hårda åtaganden, t.ex. 20% minskning, är kraftigt begränsade, varför marginalkostnaderna i detta område tenderar att bli väldigt höga. En förklaring till de relativt låga marginalkostnaderna i Norge vid måttligare åtaganden är att aktiviteten i offshoresektorn förmodas avta varför man har en del utsläppsminskningar ”gratis”. Dessutom antas i modellen att man i Norge kan bygga praktiskt taget utsläppsfri gaskraft till avsevärt lägre kostnader än i de tre övriga länderna.

Ett av Kyotoprotokollets syften var att upphäva en del av de nationella skillnader och förutsättningar som existerar då det gäller möjligheterna att begränsa koldioxidutsläppen. Men även om man tar hänsyn till Kyotoprotokollets bördefördelning (vilket alltså inte gjorts i denna analys) tycks det som om en stor del av skillnaderna kvarstår. Tidigare MARKAL-analyser i Nordledenprojektet<sup>13</sup> indikerar att ovanstående bild till stor del kvarstår då Kyoto-protokollets bördefördelning införs, även om skillnaderna i marginalkostnader minskar.

I figur 22 har vi infört de nationella utsläppsrestriktionerna samtidigt i alla fyra länder. Hur förhåller det sig om man endast skulle införa restriktionerna i ett land åt gången medan de övriga tre länderna samtidigt slipper restriktioner? Hur påverkas marginalkostnaderna av att gas- och oljepriset antas vara avsevärt högre än det som standardmässigt ligger till grund för databasens sammansättning? Bägge dessa frågeställningar besvaras i figur 23.

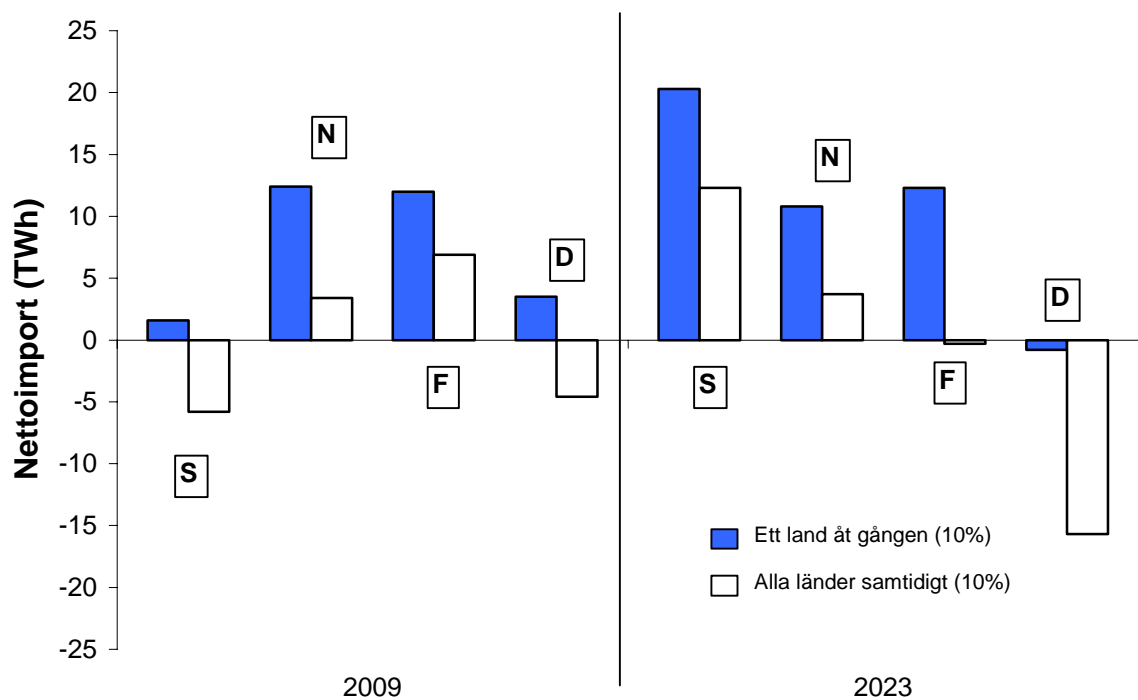
---

<sup>13</sup> Unger T, Andersson O, Rydén B, and Wene C-O ”The Nordleden project, Final report”, March 2000



*Figur 23: Marginalkostnaden för koldioxidreduktion för given begränsning på –10% år 2010 (t o m 2050) jämfört med basåret 1995. Tre fall visas: Dels då alla länder samtidigt reducerar utsläppen med 10 % (identiskt med informationen i figur 22), dels då alla länder samtidigt reducerar utsläppen med 10 procent men då avsevärt högre olje- och gaspriser antagits, och slutligen dels då ett land i sänder utsätts för en begränsning på –10 %. Det sistnämnda fallet inbegriper ”standardantaganden” för gas- och oljepriset.*

Man kan se att marginalkostnaderna för koldioxidreduktion i ett land sjunker något, om än väldigt lite, om detta land ensamt utsätts för utsläpps begränsningar jämfört med det fall då samtliga länder utsätts för samma utsläpps begränsning (jämför stapel 1 och 3 för varje land). Förklaringen är enkel: ett land kan delvis lindra kostnaderna för utsläpps begränsningar genom import av elkraft såvida grannländerna inte utsätts för likartade begränsningar. Detta visas också tydligt i figur 24 där gränsöverskridande handel med el åskådliggörs. Då ett fall med endast en utsläpps begränsning i ett land åt gången jämförs med ett fall med utsläpps begränsningar i samtliga länder ökar nettoimporten alternativt minskar nettoexporten. Den inhemska kraftproduktionen minskar alltså.



Figur 24: Nettoimport (pos y-axel) respektive nettoexport (neg y-axel) av elkraft för två utfall av koldioxidreduktion bland de nordiska länderna: dels samma begränsning i alla länder samtidigt och dels given begränsning i ett land åt gången. Mörka staplar motsvarar begränsning i ett land åt gången medan ljus stapel motsvarar begränsning i samtliga länder samtidigt.

Beträffande högre olje- och gaspriser kan man i figur 23 se att Norge och Sverige minskar sina marginalkostnader medan Danmark och Finland ökar sina. Förklaringen ligger huvudsakligen i det faktum att för den givna begränsningen så sjunker merkostnaden för de förnybara alternativen, t.ex. biobränslen och vattenkraft i Norge, eftersom gas och olja relativt sett blir dyrare. I Norge och Sverige är dessutom potentialen för ökad naturgasanvändning utan att utsläppen ökar relativt blygsam. I länder som Danmark och Finland är dock naturgas ett synnerligen kostnadseffektivt sätt att minska utsläppen eftersom inslaget av kol i utgångsläget är jämförelsevis stort. Naturgas är även vid höga priser fortfarande det främsta alternativet men med följd att marginalkostnaden ökar jämfört med ett fall då gas- och oljepriser är lägre. Man kan på goda grunder anta (se kommentar i inledningen) att om även kolpriset höjts i beräkningarna så torde marginalkostnaderna för utsläppsminskningar minska även i Danmark och Finland.



## 10. Kostnadseffektiva åtgärder för reduktion av koldioxidutsläppen i Sverige

Ofta lyfts begreppet kostnadseffektivitet fram i samband med t.ex. åtgärder för begränsning av koldioxidutsläppen. Man menar då att det är viktigt att till så låg kostnad som möjligt nå en viss nivå på koldioxidutsläppen, alternativt att erhålla en så stor utsläppsminskning som möjligt inom en viss kostnadsram. Det rimligaste är att göra kostnadseffektivitetsbedömningen utan hänsyn tagen till energi- och miljöskatter. Dessa skatter kan istället ses som medel för att styra mot ett kostnadseffektivt system. I verkligheten är problematiken mer komplicerad eftersom man har flera mål än koldioxidbegränsning med de ekonomiska styrmedlen, t.ex. intäkter till staten, stimulans för ökad energieffektivitet, gynna inhemska bränslen, ge svensk industri konkurrenskraftiga villkor, m.m.

Vilka är då de kostnadseffektiva åtgärderna? I detta avsnitt redovisar vi resultaten från en serie beräkningar med MARKAL-modellen där vi gradvis skärpt begränsningen av koldioxidutsläppen för Sverige. Beräkningarna är gjorda utan dagens skatter. Vi har antagit att motsvarande begränsningar införs i grannländerna. (Detta har gjorts för att undvika att Sverige ”köper sig fritt” genom t.ex. omfattande elimport från grannländer utan skärpta krav.) Beräkningsserien gör det möjligt att identifiera vilka åtgärder som är de mest kostnadseffektiva för att minska utsläppen från nivå  $x$  till nivå  $y$ .

Utsläppsbegränsningarna införs i beräkningarna från och med 2009 och bibehålls konstant på den aktuella nivån. De resultat som lyfts fram avser om inget annat anges år 2009.

Eftersom beräkningarna gjorts utan dagens skatter kan man inte direkt urskilja vilka förändringar jämfört med idag som är effektivast att göra. Dagens skatter har ändå en indirekt påverkan på resultaten, eftersom de så starkt präglar utseendet på dagens energisystem i Sverige.

I tabell 3 redovisas förändringen av energisystemet vid gradvis skärpt begränsning av koldioxidutsläppen.

För flera delar av energisystemet är horisonten till år 2009 alltför kort för att energisystemet skall hinna anpassa sig till de varierande utsläppsbegränsningarna. Detta gäller t.ex. uppvärmning av bostäder och lokaler. Därför väljer vi att redovisa resultaten för denna sektor för år 2023. För elproduktionen händer inte så mycket på kort sikt. Detta är anledningen till att vi redovisat vindkraftresultaten för år 2023 (då kärnkraftavvecklingen ökat behovet av ny produktion).

Tabellen visar ungefär det man kan förvänta, t.ex. användningen av biobränslen och vindkraft gynnas av skärpta utsläppsbegränsningar. Det intressanta med

redovisningen är kvantifieringen av effekterna och vilka utsläpps begränsningar som krävs för att olika åtgärder skall införas. Det är också intressant att iaktta alternativ som har ett maximum inom det studerade intervallet av utsläpps begränsningar. Ett exempel på detta är naturgaskraftvärme.

Tabell 3: Kostnadseffektiva förändringar av energisystemet vid gradvis skärpta utsläpps begränsningar<sup>14</sup>. År 2009 avses om inget annat anges.

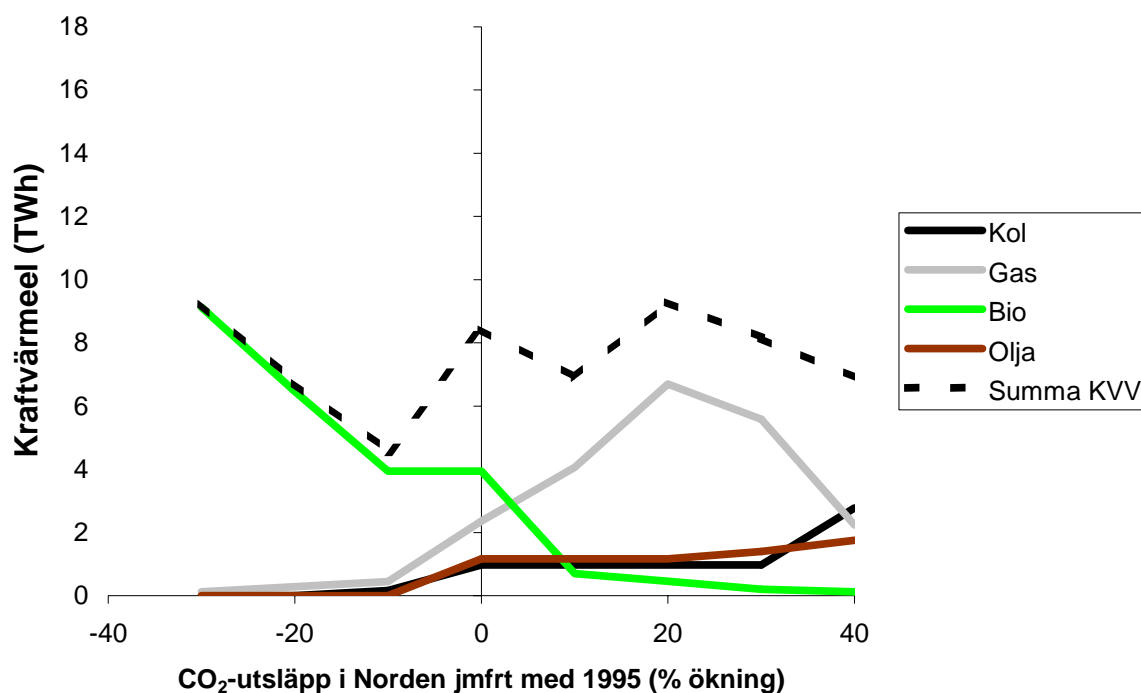
Utsläppsnivå	”Åtgärd”
+40% till +30%	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Kol-kvv minskar 2 TWh el (3 → 1)</li> <li>▪ Gas-kvv ökar 3 TWh el (2 → 5)</li> </ul>
+30% till +20%	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Gas-kvv ökar 2 TWh el (5 → 7)</li> <li>▪ Kol-hvp i fv minskar 3 TWh (11 → 8)</li> <li>▪ Olja/gas-hvp i fv ökar 7 TWh (4 → 11)</li> <li>▪ Värmepump i fv ökar 3 TWh (3 → 6)</li> <li>▪ Olja för uppvärmning i bost.&amp;lok. minskar 17 TWh (84 → 67) [år 2023]</li> <li>▪ Fjärrvärme i bost.&amp;lok. ökar 9 TWh (27 → 36) [år 2023]</li> </ul>
+20% till +10%	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Gas-kvv minskar 3 TWh el (7 → 4)</li> <li>▪ Kol-hvp i fv minskar 4 TWh (8 → 4)</li> <li>▪ Olja/gas-hvp i fv ökar 7 TWh (11 → 18)</li> <li>▪ Värmepump i fv ökar 3 TWh (6 → 9)</li> <li>▪ Olja för uppvärmning i bost.&amp;lok. minskar 17 TWh (67 → 50) [år 2023]</li> <li>▪ Fjärrvärme i bost.&amp;lok. ökar 10 TWh (36 → 46) [år 2023]</li> </ul>
+10% till 0%	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Vindkraft ökar 2 TWh (0 → 2) [År 2023]</li> <li>▪ Bio-kvv ökar 3 TWh el (1 → 4)</li> <li>▪ Gas-kvv minskar 2 TWh el (4 → 2)</li> <li>▪ Bio-hvp ökar 8 TWh (0 → 8)</li> <li>▪ Kol-hvp i fv minskar 4 TWh (4 → 0)</li> <li>▪ Olja/gas-hvp i fv minskar 4 TWh (18 → 14)</li> <li>▪ Olja inom industrin minskar 6 TWh (28 → 22)</li> <li>▪ Biobränsle inom industrin ökar 2 TWh (60 → 62)</li> <li>▪ Olja för uppvärmning i bost.&amp;lok. minskar 9 TWh (50 → 41) [år 2023]</li> <li>▪ Gas för uppvärmning i bost.&amp;lok. ökar 8 TWh (0 → 8)</li> <li>▪ Fjärrvärme i bost.&amp;lok. ökar 1 TWh (46 → 47) [år 2023]</li> </ul>
0% till -10%	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Vindkraft ökar 8 TWh (2 → 10) [År 2023]</li> <li>▪ Gas-kvv minskar 2 TWh el (2 → 0)</li> <li>▪ Kol/olja-kvv minskar 2 TWh (2 → 0)</li> <li>▪ Bio-hvp i fv ökar 6 TWh (8 → 14)</li> <li>▪ Olja för uppvärmning i bost.&amp;lok. minskar 16 TWh (41 → 25) [år 2023]</li> <li>▪ Biopelletts i bost.&amp;lok. ökar 15 TWh (0 → 15) [år 2023]</li> </ul>
-10% till -20%	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Vindkraft ökar 8 TWh (10 → 14) [År 2023]</li> <li>▪ Bio-kvv ökar 2 TWh el (4 → 6)</li> </ul>

<sup>14</sup> Förklaring till förkortningar i tabellen: kvv = kraftvärmeverk, fv = fjärrvärme, hvp = hetvattenpanna, bost.&lok. = bostäder och lokaler.



	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bio-hvp i fv ökar 3 TWh (14 → 17)</li> <li>▪ Olja/gas-hvp i fv minskar 7 TWh (14 → 7)</li> <li>▪ Olja för uppvärmning i bost.&amp;lok. minskar 6 TWh (25 → 19) [år 2023]</li> <li>▪ Värmepumpar i bost.&amp;lok. ökar 5 TWh (0 → 5) [år 2023]</li> </ul>
-20% till -30%	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bio-kvv ökar 3 TWh el (6 → 9)</li> <li>▪ Bio-hvp i fv ökar 4 TWh (17 → 21)</li> <li>▪ Olja/gas-hvp i fv minskar 4 TWh (7 → 3)</li> <li>▪ Biobränsle inom industrin ökar 9 TWh (62 → 71)</li> <li>▪ Olja för uppvärmning i bost.&amp;lok. minskar 4 TWh (19 → 15) [år 2023]</li> <li>▪ Värmepumpar i bost.&amp;lok. ökar 5 TWh (5 → 10) [år 2023]</li> </ul>

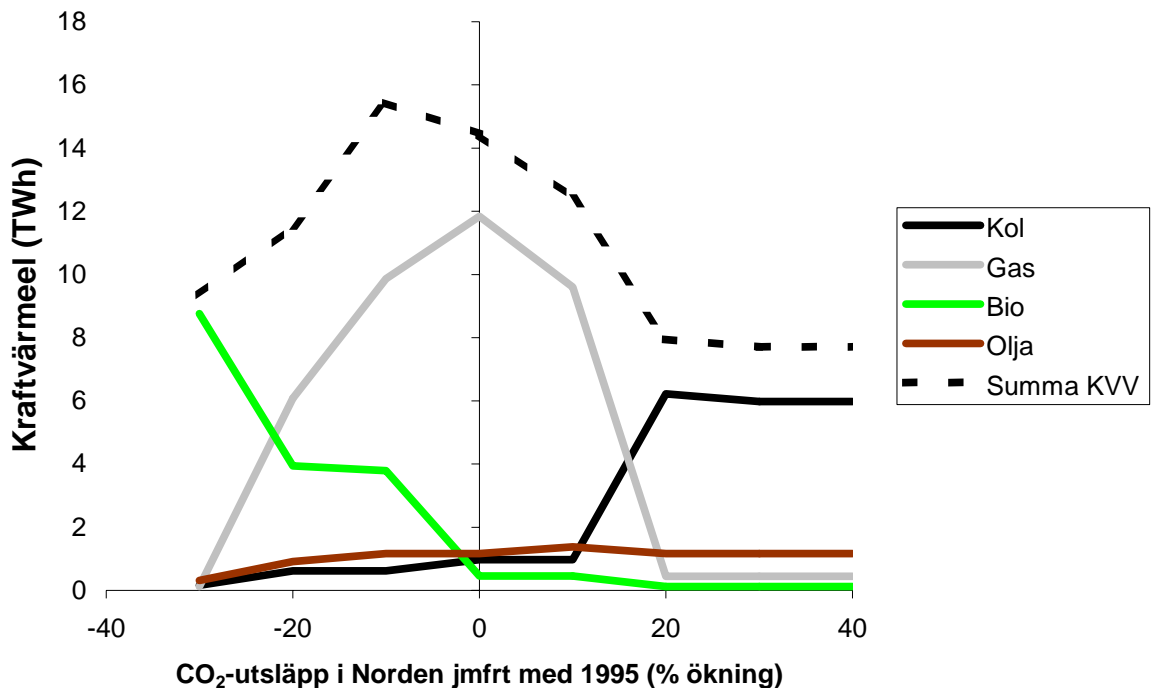
Som ett komplement till tabellen ovan redovisar vi också ett par figurer som visar elproduktionen i de svenska fjärrvärmesystemens kraftvärmeverk som funktion av utsläpsbegränsningen. Figur 25 visar förhållandena då utsläppsreduktionen verkställs land för land. (Det är dessa resultat som ingår i tabell 3.) Den andra figuren, figur 26, visar de kostnadseffektiva åtgärderna i svensk kraftvärme om utsläppsreduktionen verkställs som ett nordiskt åtagande. Fallet med ett gemensamt nordiskt åtagande leder till lägre kostnader för energiförsörjningen.



Figur 25: Kraftvärmeproduktion i Sverige år 2009 vid gradvis skärpt koldioxidbegränsning, nationellt åtagande i Norden

Det finns flera intressanta resultat att utläsa ifrån de båda figurerna. Den viktigaste erfarenheten är att ett nordiskt samarbete möjliggör att den svenska kraftvärmepotentialen kan utnyttjas. Om åtagandet är nationellt leder Sveriges stränga utsläppsram till att kraftvärme baserat på fossila bränslen endast i begränsad mängd kan nyttiggöras. Medan elproduktionen i svenska kraftvärmeverk i fallet med nationellt åtagande ligger kring 6 TWh vid utsläppsbegränsningar mellan +10% och -10% uppgår elproduktionen till 14 TWh då åtagandet genomförs gemensamt i Norden.

Tydligast är skillnaden för naturgaskraftvärme som i fallet med nationellt åtagande når en topp på 7 TWh vid utsläppsbegränsningen +20%, medan ett nordiskt åtagande ger 12 TWh vid utsläppsbegränsningen +/-0%. Ett annat intressant resultat är biobränslekraftvärmens utveckling, som i båda fallen följer i princip samma ”utvecklingsmönster”. Skillnaden är dock att respektive nivå uppkommer först vid en strängare utsläppsbegränsning i fallet med nordiskt utsläppsåtagande. Exempelvis nås nivån 4 TWh vid +/-0% vid nationellt åtagande, medan 4 TWh nås vid -10% vid nordiskt åtagande. Detta, liksom mycket annat, är en indikation på att det är mer kostsamt att åstadkomma utsläppsminskningar i Sverige än de flesta andra länder.



Figur 26: Kraftvärmeproduktion i Sverige år 2009 vid gradvis skärpt koldioxidbegränsning, gemensamt nordiskt åtagande

# Bilaga Var finns det möjlighet att minska koldioxidutsläppen?

I denna rapport diskuterar vi förutsättningarna för reduktion av koldioxidutsläppen i Sverige. Vi jämför också med förhållandena i andra länder.

## 1. Det svenska energisystemet<sup>15</sup>

Den svenska energitillförseln har ökat med 150 TWh från 1970 till 1999. Under denna tid har det varit stora förändringar i tillförselmixen. Oljans andel av energiförsörjningen har minskat från 77 % till 33 %. Detta har till stor del möjliggjorts av introduktionen av kärnkraft. Ökningen av biobränslen, från 9 % till 15 %, har också bidragit. Biobränsletillförseln uppgick år 1999 till 95 TWh. Mer än hälften av detta används inom skogsindustrin, t.ex. 34 TWh lutar. Den snabbaste ökningstakten har dock varit inom fjärrvärmeproduktionen, där användningen ökat från 2 TWh 1980 till 26 TWh 1999.

Energianvändningen inom industrin och bostads- och servicesektorn minskade något från 1970 till 1999. Inom transportsektorn ökade energianvändningen däremot kraftigt, med mer än 40 %. Industrisektorn står för 40 % av energianvändningen. Av detta används två tredjedelar inom det som brukar benämnas energiintensiv industri<sup>16</sup>. Att energianvändningen legat konstant trots ökad industriproduktion kan förklaras med ökande andel el (där förlusterna ligger i tidigare led) och effektivare energianvändning. Strukturomvandling och förändrad produktmix inom industrin kan också ha bidragit.

Den stora ökningen av energianvändningen inom transportsektorn hänger samman med ökade vägtransporter. Minskningen av den specifika bränsleförbrukningen har inte kunnat dämpa ökningen i någon större omfattning. Det har heller inte förekommit några märkbara bränslesubstitutioner.

Inom bostads- och servicesektorn har uppvärmningsbehovet i princip legat stilla trots allt större uppvärmd yta. Detta kan till stor del förklaras med att oljeeldning ersatts med elvärme och fjärrvärme (där förlusterna ligger i tidigare led). Det specifika uppvärmningsbehovet, kWh/m<sup>2</sup>, har samtidigt minskat. Användningen av el för hushållsel och driftel har mer än fördubblats från 1970 till 1999 till följd av fler hushåll, större lokalytor och fler hushållsapparater.

Trots den ökade energitillförseln har koldioxidutsläppen från energisystemet minskat med 40 % från 1970 till 1999. (Från 1990 till 1999 har utsläppen i stort

---

<sup>15</sup> Kapitlet bygger i stor utsträckning på redovisningar i Sveriges tredje nationalrapport om klimatförändringar, Ds 2001:71.

<sup>16</sup> Sektorerna massa och papper, järn och stål samt kemi.

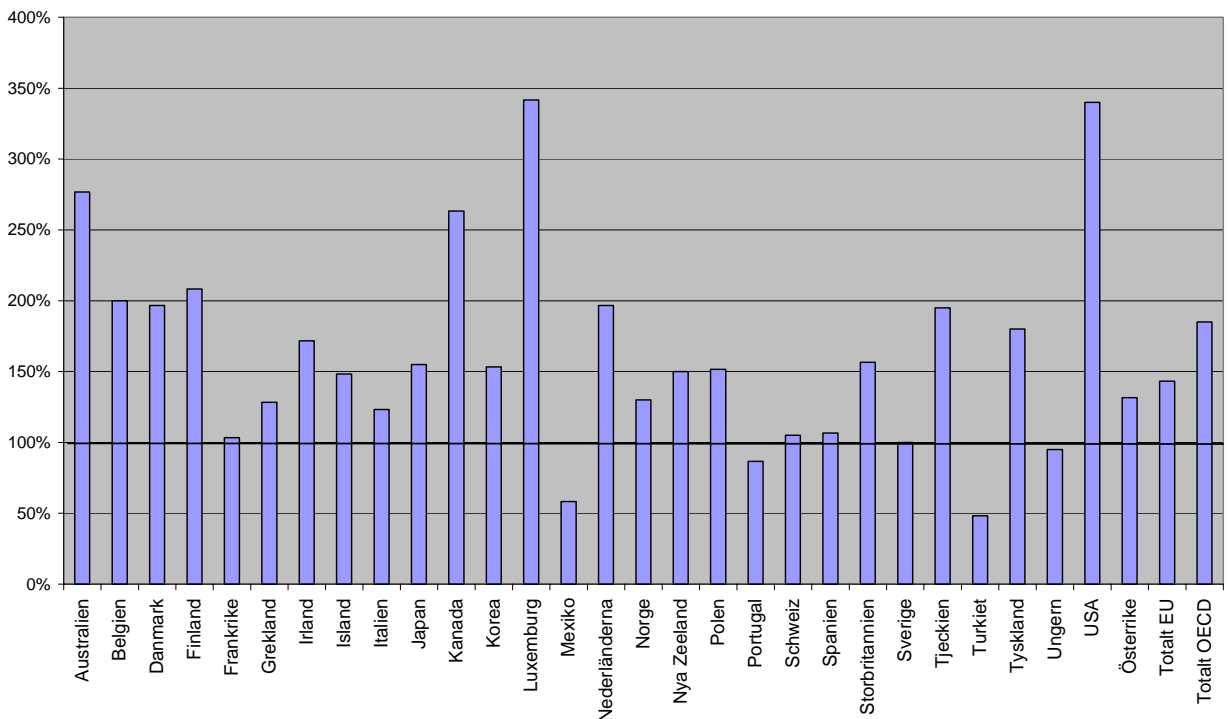
sett legat stilla.) Denna kraftiga minskning av koldioxidutsläppen från energiomvandling kan i stor utsträckning förklaras med att olja ersatts av el (från kärnkraft) och av biobränslen. Minskningen har kunnat uppnås trots att utsläppen från inrikes transporter under samma period ökat med 40%.

I jämförelse med andra OECD-länder karaktäriseras det svenska energisystemet av stor energianvändning per capita. Detta kan förklaras med tillgången till naturresurser som vattenkraft och skog, som lett till expansion av energiintensiv industri. Vårt kalla klimat och de långa transportavstånden bidrar också. Däremot är koldioxidutsläppen per capita små i jämförelse med andra OECD-länder, 6 ton i Sverige jämfört med 11 ton som medelvärde för OECD. I avsnitt 2 utvecklas denna jämförelse vidare.

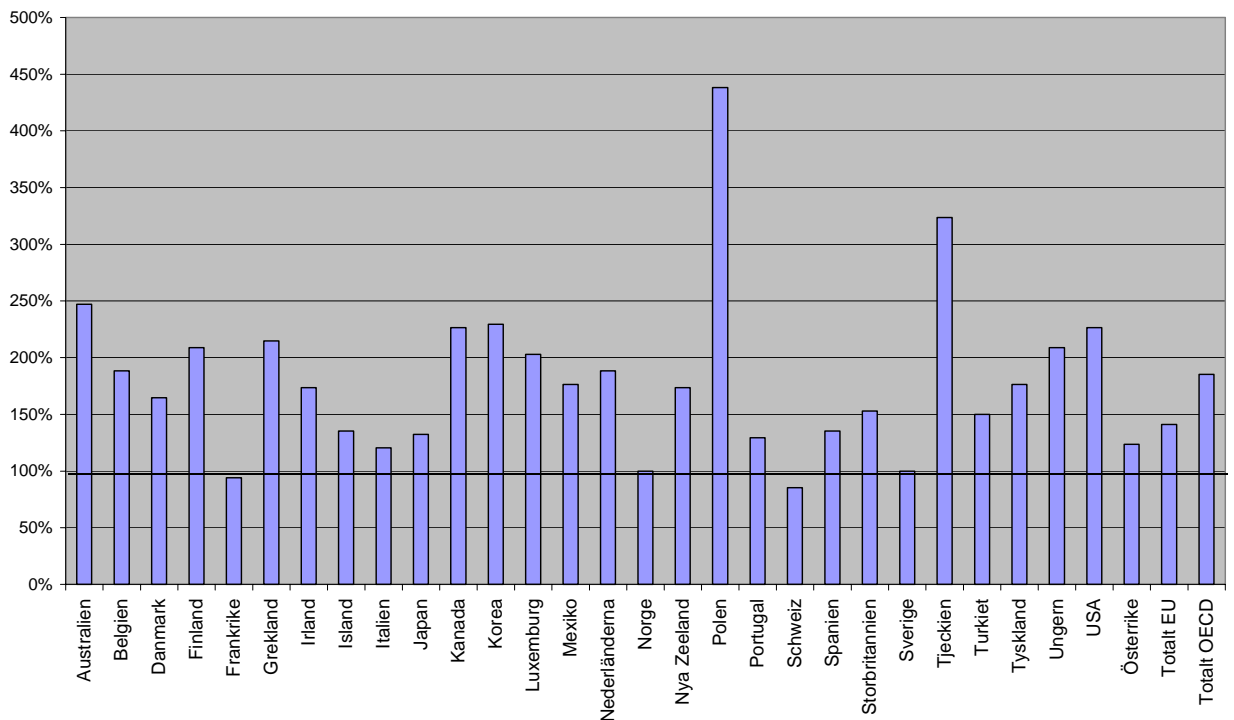
## 2. Koldioxidutsläpp i Sverige och resten av världen

Som tidigare konstaterats är koldioxidutsläppen per invånare avsevärt lägre i Sverige, 6,0 ton CO<sub>2</sub>/invånare, än i OECD-länderna som helhet. Detta trots att den svenska energitillförseln per invånare är större än i många andra länder. På samma sätt är de svenska utsläppen per BNP, 0,34 kg CO<sub>2</sub>/(1990)USD, lägre än för de flesta andra länder.

Följande två figurer visar dessa samband för ett urval av länder.



Figur 1: Koldioxidutsläpp per invånare, jämfört med Sverige (1998)



Figur 2: Koldioxidutsläpp per BNP, jämfört med Sverige (1998)

Om man relaterar koldioxidutsläppen till antalet invånare finns några länder med mindre specifika utsläpp än Sverige. Det är genomgående länder med lägre ekonomisk aktivitet än Sverige, t.ex. Mexiko och Turkiet. Om man istället relaterar utsläppen till landets bruttonationalprodukt, BNP, ligger Sverige fortfarande väl till, med endast ett par länder med något mindre specifika utsläpp än Sverige. Här är det dock helt andra länder som ligger bättre till, nämligen Schweiz och Frankrike.

Storleken på energitillförseln och koldioxidutsläppen beror på en mängd faktorer, både sådana som sammanhänger med våra ”naturliga förutsättningar” och sådana som beror på beslut av politiker, företag och enskilda.

Exempel på förhållanden som ökar utsläppen är:

- ▶ Stor andel energiintensiv industri
- ▶ Kallt klimat
- ▶ Långa transportavstånd

Exempel på förhållanden som minskar utsläppen är:

- ▶ Stor tillgång till förnybar energi, t.ex. vattenkraft och biobränslen
- ▶ Kärnkraft
- ▶ Höga skatter på fossila bränslen som stimulerar användning av förnybar energi och dämpar energiefterfrågan

De svenska marginalkostnaderna för koldioxidreduktion jämförs i kapitel 6 med kostnaderna i andra länder.

### 3. Principiella möjligheter för reduktion av koldioxidutsläppen

Koldioxidutsläppens storlek beror på ett antal faktorer. Ett sätt att åskådliggöra detta är det s.k. ASIF-sambandet<sup>17</sup>. Enligt denna modell kan utsläppet, G, relateras till fyra faktorer som multipliceras med varandra:

$$G = A \times S_i \times I_i \times F_{ij}$$

där:

A = total sektoraktivitet (t.ex. befolkning, personkilometer eller produktionsvärde)

*S = sektorstruktur (t.ex. bostadsyta per capita, transportslagets andel av transportarbetet eller industrisektorns andel av produktionen)*

*I = energiintensitet (uppvärmningsbehov per bostadsyta, transportslagets specifika energiförbrukning eller industrisektorns specifika energiförbrukning)*

*F = kolinnehållet per bränsle (i) använd i led (j) (där "ledet" kan vara förändring av bränsle för el- eller fjärrvärmeproduktion, effektivitet i el- eller fjärrvärmeproduktion eller bränslebyte i slutanvändarledet)*

Produkten av I och F kan benämnas kolintensitet, medan produkten av A och S kan benämnas energitjänster.

I princip kan man alltså återfinna alla åtgärder för att minska koldioxidutsläppen i någon av faktorerna ovan<sup>18</sup>. Det kan vara intressant att reflektera över Sveriges möjligheter till ytterligare reduktion av koldioxidutsläppen med utgångspunkt från det ovan redovisade sambandet. Inom många områden har användningen av fossila bränslen minskat dramatiskt och ersatts av el och biobränslen (faktor F ovan). Det är endast inom transportsektorn som användningen av fossila bränslen fortfarande är helt dominerande. Man kan därmed misstänka att ytterligare reduktion av fossilbränsleanvändningen blir allt mer kostsam. En fortsättning av kärnkraftavvecklingen kan snarare få till följd att faktorn F ökar, då annan elproduktion tillförs.

Samtidigt finns önskemål om att den ekonomiska tillväxten skall fortsätta. Därmed kan man förvänta att aktiviteten, faktorn A, också ökar. Om utsläppen skall minska krävs alltså lägre nivåer på faktorerna S och eller I. Strukturfaktorn S kan t.ex. sänkas genom att fler väljer små bilar istället för stora bilar.

---

<sup>17</sup> Unander, F., Schipper, L., "Trends in Energy Use and Efficiency: On the Road from Kyoto", IEA, 1999(?)

<sup>18</sup> Koldioxidavskiljning med efterföljande deponering kan sägas tillhöra "faktor F".

Strukturfaktorn kan också sänkas genom att energiintensiv industri försvinner från Sverige. Detta kan dock mycket väl vara en suboptimering om utfasningen av energiintensiv industri bara leder till att samma industri istället uppstår i andra länder. I dessa länder kan den tillkommande energianvändningen mycket väl ge avsevärt större utsläpp.

Energiintensiteten, faktor I, har hittills minskat över tiden. Detta kommer att bli ännu viktigare i framtiden om utsläppen skall kunna minska trots ökad aktivitet och eventuellt högre genomsnittligt kolinnehåll i energitillförseln.

Av stor betydelse är också hur man ser på import/export av energi. Om man fokuserar på minimering av utsläppen inom landet är import av el en utmärkt strategi, även om elproduktionen utanför landets gränser ger större utsläpp än motsvarande elproduktion skulle ge inom landet. Eftersom koldioxid ju endast har globala effekter är det beklagligt om nationella utsläppsåtaganden, istället för internationell samverkan, medför suboptimeringar som resulterar i mindre totala utsläppsreduktion, alternativt samma totala utsläppsreduktion men till högre kostnad. (Detta är en parallell till diskussionen om energiintensiv industri ovan.)

#### **4. Vad menar vi med kostnadseffektiva åtgärder?**

För att utsläppsreduktionen skall kunna ske så "smärtfritt" som möjligt är det önskvärt att de mest kostnadseffektiva åtgärderna utnyttjas. Redan här är det dock nödvändigt att ta ställning till vad som avses med begreppet kostnadseffektivitet. I detta avsnitt diskuterar vi därför vilken innebörd begreppet kostnadseffektiv kan ha. Vi tar samtidigt upp några områden där val behöver göras.

##### *Kostnadseffektivt för vem?*

När vi diskuterar kostnadseffektivitet ser vi på åtgärderna ur ett samhällsperspektiv. Vi tar alltså inte hänsyn till privat- eller företagsekonomiska betraktelser, utan jämför alla åtgärder med samma lönsamhetskriterium. Vi förutsätter exempelvis samma realränta för alla åtgärder. Detta kan innebära att en viss åtgärd identifieras som kostnadseffektiv, trots att den aktör som i verkligheten har möjlighet att genomföra den inte alls finner den lönsam i sin kalkyl. Här har staten möjlighet att ändra på kalkylförutsättningarna genom att tillämpa styrmedel av olika slag, t.ex. skatter och/eller bidrag.

##### *Vad menar vi med åtgärder?*

Åtgärder för reduktion av koldioxidutsläpp kan vara av många olika slag, från koldioxidavskiljning, via bränslebyten och ökad verkningsgrad i pannor till minskad efterfrågan på energitjänster. Normalt analyseras "tekniska åtgärder", medan beteendeförändringar mindre ofta ingår i kartläggningar av kostnadseffektiva åtgärder. En orsak till detta är förmodligen att det är svårt att ansätta en kostnad på beteendeförändringen. Om vi tar exemplet "mjukare körstil för personbil" kan man förmodligen fastställa vilket koldioxidutsläpp som undviks (genom att den specifika bränsleförbrukningen sjunker), medan

kostnaden är svårare att fastställa. Möjligen kan man göra antaganden om timkostnaden för resenärerna, men dessa riskerar att bli mycket osäkra.

### *Sverige eller Norden som systemgräns*

Om man utgår från att Sverige har ett åtagande att koldioxidutsläppen inte får öka mer än 4% från 1990 till 2010 (2008-2012) och att våra grannländer har egna åtaganden, kommer marginalkostnaden för utsläpps begränsningarna att bli olika stora i de olika länderna. Om vi antar att marginalkostnaden är högst i Sverige kommer vi att behöva ta till relativt dyra åtgärder för att klara begränsningen, även om vi utnyttjar de mest kostnadseffektiva metoderna. Om vi istället lägger samman de nordiska åtagandena och genomför utsläppsreduktionen där marginalkostnaden är lägst, kommer den totala anpassningskostnaden att bli mindre och utsläppen fördelas på ett annat sätt. Detta medför att ett antal av de åtgärder som var kostnadseffektiva om man betraktar Sverige isolerat inte längre är kostnadseffektiva. Även om vi här exemplifierar med Norden kan man naturligtvis samarbeta internationellt inom andra regioner, t.ex. EU.

### *Anpassning uteslutande i Sverige eller även "flexibla mekanismer"*

Ett exempel på en flexibel mekanism är handel med utsläppsrätter. Mycket talar för att marginalkostnaden för utsläpps begränsningsåtgärderna är högre i Sverige än i de flesta andra länder. Detta framgår av resultat som presenteras i kapitel 6. Om Sverige gör alla anpassningsåtgärder inom landet och de mest kostnadseffektiva åtgärderna utnyttjas behöver vi utnyttja åtgärder med relativt höga specifika koldioxidreduktionskostnader. Vid en internationell handel med utsläppsrätter kommer ett världsmarknadspris på utsläppsrätterna att etableras. Detta innebär att det för Sverige blir kostnadseffektivt att genomföra egna åtgärder med specifika kostnader lägre än priset på utsläppsrätterna. Övrig "utsläppsreduktion" sker genom att anskaffa utsläppsrätter. Detta innebär att vissa åtgärder som var kostnadseffektiva i fallet utan handel med utsläppsrätter, inte länge kan betraktas som kostnadseffektiva.

### *Inklusive eller exklusive skatter*

När kostnaden för en utsläppsreduktionsåtgärd, t.ex. ett bränslebyte från kol till biobränsle, beräknas kan man göra beräkningen inklusive skatter eller exklusive skatter (t.ex. energiskatt och koldioxidskatt). Beräkningen inklusive skatter är rimlig om man ser valet ur företagets eller hushållets perspektiv. Då framgår ju de verkliga kostnadskonsekvenserna för företaget. Ur samhällsperspektivet är det dock rimligare att se kostnaden exklusive skatter. Det är ju i detta fall de "grundläggande kostnaderna" för åtgärden som är intressant. Skatten används snarare för att göra det önskvärda beteendet ekonomiskt mer attraktivt<sup>19</sup>. Antag exempelvis ett bränslebyte från kol till biobränsle. Eftersom skatten är hög på kol (som släpper ut koldioxid) kommer fallet då beräkningen av reduktionskostnaden innehåller skatter att visa en lägre utsläppsreduktionskostnad än i fallet då

---

<sup>19</sup> Skatten används naturligtvis även av rent fiskala skäl, för att finansiera statens utgifter.



bränslekostnaden exklusive skatter utnyttjas. Då vi främst intresserar oss för samhällsperspektivet är kostnadseffektiviteten exklusive skatter av störst intresse.

## 5. Exempel på kostnadseffektiva åtgärder för minskning av koldioxidutsläppen

I detta avsnitt tar vi upp exempel på kostnadseffektiva åtgärder för minskning av koldioxidutsläppen. Åtgärderna har identifierats med hjälp av MARKAL-beräkningar (utförda under maj 2002) med gradvis skärpta koldioxidbegränsningar. Beräkningarna är gjorda utan dagens skatter. Vi har antagit att motsvarande begränsningar införs i grannländerna. (Detta har gjorts för att undvika att Sverige ”köper sig fritt” genom t.ex. omfattande elimport från grannländer utan skärpta krav.) Beräkningsserien gör det möjligt att identifiera vilka åtgärder som är de mest kostnadseffektiva för att minska de totala koldioxidutsläppen från nivå x till nivå y.

Utsläpps begränsningarna relateras till 1995 års utsläpp och införs i beräkningarna från och med 2009 samt bibehålls konstant på den aktuella nivån. De resultat som lyfts fram avser om inget annat anges år 2009. I tabell 1 redovisas exempel på förändringen av energisystemet vid gradvis skärpt begränsning av koldioxidutsläppen.

Eftersom beräkningarna gjorts utan dagens skatter kan man inte direkt urskilja vilka förändringar jämfört med idag som är effektivast att göra. Dagens skatter har ändå en markant indirekt påverkan på resultaten, eftersom de så starkt präglar utseendet på dagens energisystem i Sverige.

Tabell 1: Exempel på kostnadseffektiva förändringar av energisystemet i Sverige vid gradvis skärpta utsläpps begränsningar<sup>20</sup>

Utsläppsnivå	”Åtgärd”
+40% till +30%	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Kol-kvv minskar 2 TWh el (3 → 1)</li> <li>▪ Gas-kvv ökar 3 TWh el (2 → 5)</li> </ul>
+30% till +20%	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Gas-kvv ökar 2 TWh el (5 → 7)</li> <li>▪ Kol-hvp i fv minskar 3 TWh (11 → 8)</li> <li>▪ Olja/gas-hvp i fv ökar 7 TWh (4 → 11)</li> <li>▪ Värmepump i fv ökar 3 TWh (3 → 6)</li> <li>▪ Olja för uppvärmning i bost.&amp;lok. minskar 17 TWh (84 → 67) [år 2023]</li> <li>▪ Fjärrvärme i bost.&amp;lok. ökar 9 TWh (27 → 36) [år 2023]</li> </ul>
+20% till +10%	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Gas-kvv minskar 3 TWh el (7 → 4)</li> <li>▪ Kol-hvp i fv minskar 4 TWh (8 → 4)</li> <li>▪ Olja/gas-hvp i fv ökar 7 TWh (11 → 18)</li> <li>▪ Värmepump i fv ökar 3 TWh (6 → 9)</li> <li>▪ Olja för uppvärmning i bost.&amp;lok. minskar 17 TWh (67 → 50)</li> </ul>

<sup>20</sup> Förklaring av förkortningar i tabellen: kvv = kraftvärmeverk, hvp = hetvattenpanna, fv = fjärrvärme, bost&lok = bostäder och lokaler

	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ [år 2023]</li> <li>▪ Fjärrvärme i bost.&amp;lok. ökar 10 TWh (36 → 46) [år 2023]</li> </ul>
+10% till 0%	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Vindkraft ökar 2 TWh (0 → 2) [År 2023]</li> <li>▪ Bio-kvv ökar 3 TWh el (1 → 4)</li> <li>▪ Gas-kvv minskar 2 TWh el (4 → 2)</li> <li>▪ Bio-hvp ökar 8 TWh (0 → 8)</li> <li>▪ Kol-hvp i fv minskar 4 TWh (4 → 0)</li> <li>▪ Olja/gas-hvp i fv minskar 4 TWh (18 → 14)</li> <li>▪ Olja inom industrin minskar 6 TWh (28 → 22)</li> <li>▪ Biobränsle inom industrin ökar 2 TWh (60 → 62)</li> <li>▪ Olja för uppvärmning i bost.&amp;lok. minskar 9 TWh (50 → 41) [år 2023]</li> <li>▪ Gas för uppvärmning i bost.&amp;lok. ökar 8 TWh (0 → 8)</li> <li>▪ Fjärrvärme i bost.&amp;lok. ökar 1 TWh (46 → 47) [år 2023]</li> </ul>
0% till -10%	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Vindkraft ökar 8 TWh (2 → 10) [År 2023]</li> <li>▪ Gas-kvv minskar 2 TWh el (2 → 0)</li> <li>▪ Kol/olja-kvv minskar 2 TWh (2 → 0)</li> <li>▪ Bio-hvp i fv ökar 6 TWh (8 → 14)</li> <li>▪ Olja för uppvärmning i bost.&amp;lok. minskar 16 TWh (41 → 25) [år 2023]</li> <li>▪ Biopellets i bost.&amp;lok. ökar 15 TWh (0 → 15) [år 2023]</li> </ul>
-10% till -20%	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Vindkraft ökar 8 TWh (10 → 14) [År 2023]</li> <li>▪ Bio-kvv ökar 2 TWh el (4 → 6)</li> <li>▪ Bio-hvp i fv ökar 3 TWh (14 → 17)</li> <li>▪ Olja/gas-hvp i fv minskar 7 TWh (14 → 7)</li> <li>▪ Olja för uppvärmning i bost.&amp;lok. minskar 6 TWh (25 → 19) [år 2023]</li> <li>▪ Värmepumpar i bost.&amp;lok. ökar 5 TWh (0 → 5) [år 2023]</li> </ul>
-20% till -30%	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bio-kvv ökar 3 TWh el (6 → 9)</li> <li>▪ Bio-hvp i fv ökar 4 TWh (17 → 21)</li> <li>▪ Olja/gas-hvp i fv minskar 4 TWh (7 → 3)</li> <li>▪ Biobränsle inom industrin ökar 9 TWh (62 → 71)</li> <li>▪ Olja för uppvärmning i bost.&amp;lok. minskar 4 TWh (19 → 15) [år 2023]</li> <li>▪ Värmepumpar i bost.&amp;lok. ökar 5 TWh (5 → 10) [år 2023]</li> </ul>

För flera delar av energisystemet är horisonten till år 2009 alltför kort för att energisystemet skall hinna anpassa sig till de varierande utsläppsbegränsningarna. Detta gäller t.ex. uppvärmning av bostäder och lokaler. Därför väljer vi att redovisa resultaten för denna sektor för år 2023. För elproduktionen händer inte så mycket på kort sikt. Detta är anledningen till att vi redovisat vindkraftresultaten för år 2023 (då kärnkraftavvecklingen ökat behovet av ny produktion).

Tabellen visar ungefär det man kan förvänta, t.ex. att användningen av biobränslen och vindkraft gynnas av skärpta utsläppsbegränsningar. Det intressanta med redovisningen är kvantifieringen av effekterna och vilka utsläppsbegränsningar som krävs för att olika åtgärder skall införas. Det är också

intressant att iaktta alternativ som har ett maximum inom det studerade intervallet av utsläpps begränsningar. Ett exempel på detta är naturgaskraftvärme.

Man bör observera att denna beskrivning av kostnadseffektivitet tar sin utgångspunkt i att utsläppsreduktionen sker nationellt. Om motsvarande minskning av utsläppen skulle ske inom Norden eller inom EU kan man anta att en viss utsläppsreduktion skulle innehålla mindre ambitiösa åtgärder än de som visas i tabell 1. Orsaken till detta är att Sverige redan har så små utsläpp att det relativt sett blir mycket kostsamt att minska dem ytterligare.

Resultaten från beräkningarna redovisas i större detalj i Profu-rapporten ”Styrmedel inom klimatpolitiken – modellberäkningar samt problemorienterade beskrivningar och analyser” från oktober 2002.

## **6. Marginalkostnad för koldioxidreduktion i olika länder**

I samband med diskussioner kring hur mycket av den önskade koldioxidbegränsningen som skall göras land för land kommer man ofta in på marginalkostnaden för CO<sub>2</sub>-reduktion i olika länder. Lägst total kostnad för reduktionen blir det om kostnaden för den dyraste utnyttjade anpassningsåtgärden är densamma i alla länder. En helt annan fråga är dock vilket som är den rättvisa fördelningen länderna emellan. Exempelvis kan införandet av alla åtgärder billigare än x öre/kg CO<sub>2</sub> leda till en BNP-förlust på 0,3 % i ett land medan införande av åtgärder med motsvarande kostnad i ett annat land ger en BNP-förlust på 0,6 %. Här tar vi dock inte upp rättvisediskussionen utan koncentrerar oss på marginalkostnaden för koldioxidreduktion i olika länder.

För att skapa oss en bild av marginalkostnaden för begränsning av koldioxidutsläppen i olika länder har vi sökt i litteraturen efter utredningar som analyserat detta. Vi har funnit ett antal arbeten, med delvis olika inriktning metod och resultat. Det är svårt att helt och hållet tränga in i de genomförda analyserna och därmed förstå alla orsaker till skillnader mellan utredningarna, men vi hoppas att de presenterade marginalkostnaderna ändå ger en antydning om vilka nivåer det kan handla om och storleken på skillnaderna mellan länder.

Marginalkostnaden för koldioxidreduktion beror på en hel mängd antaganden om t.ex. bränslepriser, energibehovsutveckling, teknikutveckling, hur energisparande beskrivs, vilken tidshorisont som avses, tillgången till förnybar energi, om kärnkraft tillåts, industristrukturens utveckling, m.m. I de allra flesta arbeten avses marginalkostnaden år 2010. Orsaken är naturligtvis att marginalkostnaderna diskuteras i samband utsläppsåtaganden enligt Kyotoprotokollet, som ju fokuserar på detta årtal (eller rättare sagt 2008 - 2012).

Marginalkostnaden för koldioxidbegränsningen beror dessutom till viss del på om man endast ser på begränsning av koldioxid, eller alla sex växthusgaser som omfattas av Kyotoprotokollet. Om alla sex gaserna begränsas blir marginalkostnaden för koldioxidbegränsningen lägre än om endast utsläppen av koldioxid begränsas. Orsaken är att flera av de utsläppsreduktionsåtgärder som

blir aktuella reducerar flera av gaserna. Exempelvis minskar energisparande utsläpp av flera ämnen samtidigt. Därmed kan åtgärdskostnaden delas mellan de olika gaserna. För Finland anger man att marginalkostnaden för enbart koldioxidbegränsningen skulle vara 20% högre än om koldioxid begränsas tillsammans med NH<sub>4</sub> och N<sub>2</sub>O.

Utsläppsreduktion man får av åtgärder upp till en viss marginalkostnad kan antingen mätas i förhållande till basårets utsläpp (1990) eller i förhållande till ett framtida referensscenario. I den fortsatta diskussionen använder vi om inget annat anges utsläppsminskningen i förhållande till 1990 års utsläpp<sup>21</sup>.

## 6.1 Marginalkostnaden för olika regioner för att uppnå Kyotoprotokollets mål

I IEA-rapporten ”International Emission Trading- from concept to reality”, från 2001 redovisar en sammanställning av marginalkostnadsberäkningar för några olika regioner för att nå Kyotoprotokollets mål. Beräkningarna har gjorts med åtta olika datormodeller. Med modellerna har också marginalkostnaden vid fullt utnyttjande av utsläppshandel och övriga flexibla mekanismer beräknats.

Tabell 2: Marginalkostnaden för olika regioner för att uppnå Kyotoprotokollets mål, med och utan utsläppshandel [USD (2000) / ton CO<sub>2</sub>].

Modell	USA, ingen handel	Europa, ingen handel	Japan, ingen handel	Annex B länder, handel	Globalt, handel
SGM	48			22	8
MERGE	81			34	24
G-Cubed	19	49	74	11	4
POLES	24	38 – 41	71	33	10
GTEM	111	228	222	36	
WorldScan	11	23	26	6	
GREEN	44	58	23	20	7
AIM	49	63	75	19	13
Medelvärde	48	77	82	24	8

Tabellen visar en mängd intressanta sammanhang. Enligt de flesta modellberäkningarna är marginalkostnaden för Japan högst, följt av Europa, medan marginalkostnaden i sju av åtta modellerberäkningar är lägst för USA. Spridningen mellan modellresultaten är dock mycket stor. För USA varierar marginalkostnaden från 11 till 111 USD/ton CO<sub>2</sub>. Det finns flera förklaringar till den stora spridningen mellan modellresultaten. Bland de viktigare kan nämnas variationer i ”business-as-usual” prognoserna för koldioxidutsläppen (som avgör

<sup>21</sup> Eftersom de flesta länder i ett referensfall utan CO<sub>2</sub>-begränsningar ökar sina utsläpp från 1990 till 2010 kommer en viss utsläppsreduktion att resultera i en högre marginalkostnad om reduktionen relateras till 1990 års utsläpp än om reduktionen relateras till referensscenariots utsläpp 2010. (Undantag finns dock, t.ex. f.d. Sovjetunionen.)

storleksordningen på den ansträngning som krävs) och olika antaganden om tillgång och kostnad på energikällor och tekniker med låga koldioxidutsläpp.

Värdet av utsläppshandel framgår också av modellberäkningarna. I alla beräkningar utom en hamnar marginalkostnaden för koldioxidreduktion lägre i fallet med full handel mellan Annex B länderna<sup>22</sup> än den lägsta marginalkostnaden för någon av de studerade regionerna. Ännu lägre blir marginalkostnaden vid global handel.

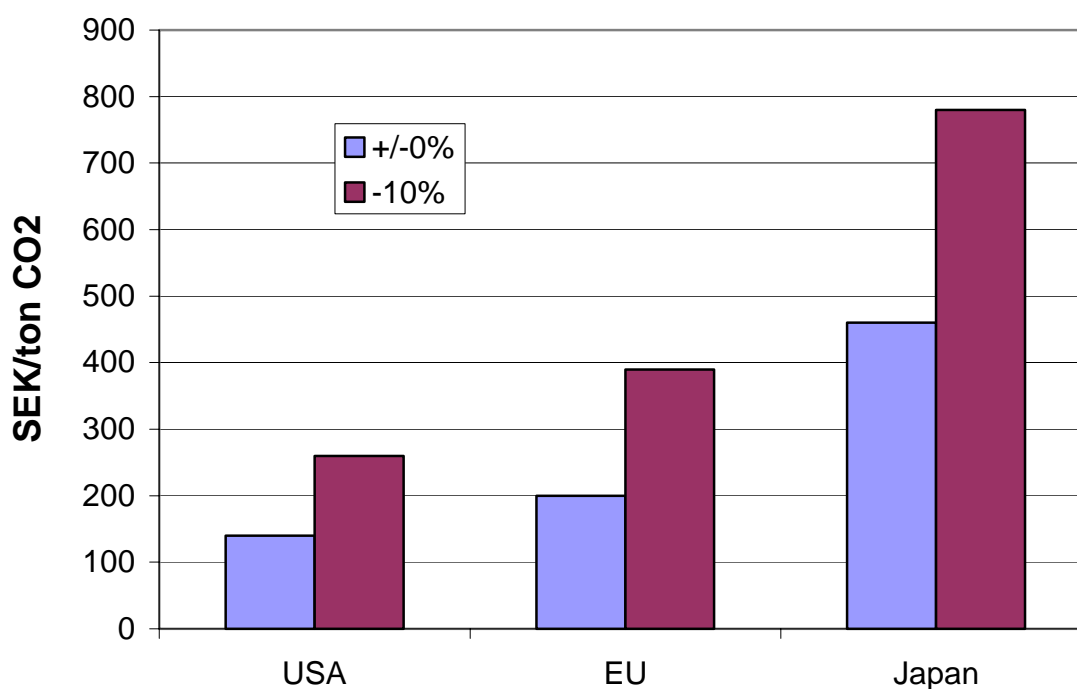
I en fotnot till den utnyttjade tabellen i IEA-rapporten diskuteras orsaker till skillnaderna mellan modellberäkningsresultaten. Där nämns, utöver förklaringarna som diskuteras ovan, beskrivningen av existerande skatter som avgör vilken ytterligare marginalkostnad som behövs. Detta antyder att marginalkostnaderna avser kostnaden utöver dagens skatter. Om detta är fallet kan tabellens nivåer vara för låga om man vill identifiera de verkliga marginalkostnaderna, d.v.s. utan dagens inkluderande av dagens skatter (som ju sänker marginalkostnaden.)

## **6.2 Marginalkostnader för olika regioner för att nå givna utsläppsreduktioner**

Med POLES-modellen har en stor mängd marginalkostnader beräknats. Bland annat redovisas marginalkostnaden för några olika regioner för att till år 2010 nå koldioxidutsläpp som är +/- 0, respektive -10 %, jämfört med 1990 års utsläpp. Figur 3 visar dessa marginalkostnader.

---

<sup>22</sup> Annex B länderna är de länder som inom ramen för Kyoto-protokollet gjort kvantitativa åtaganden om utsläppen av koldioxid 2008 – 2012.



Figur 3: Marginalkostnad för att år 2010 nå två olika utsläppsnivåer för koldioxid, jämfört med utsläppen 1990

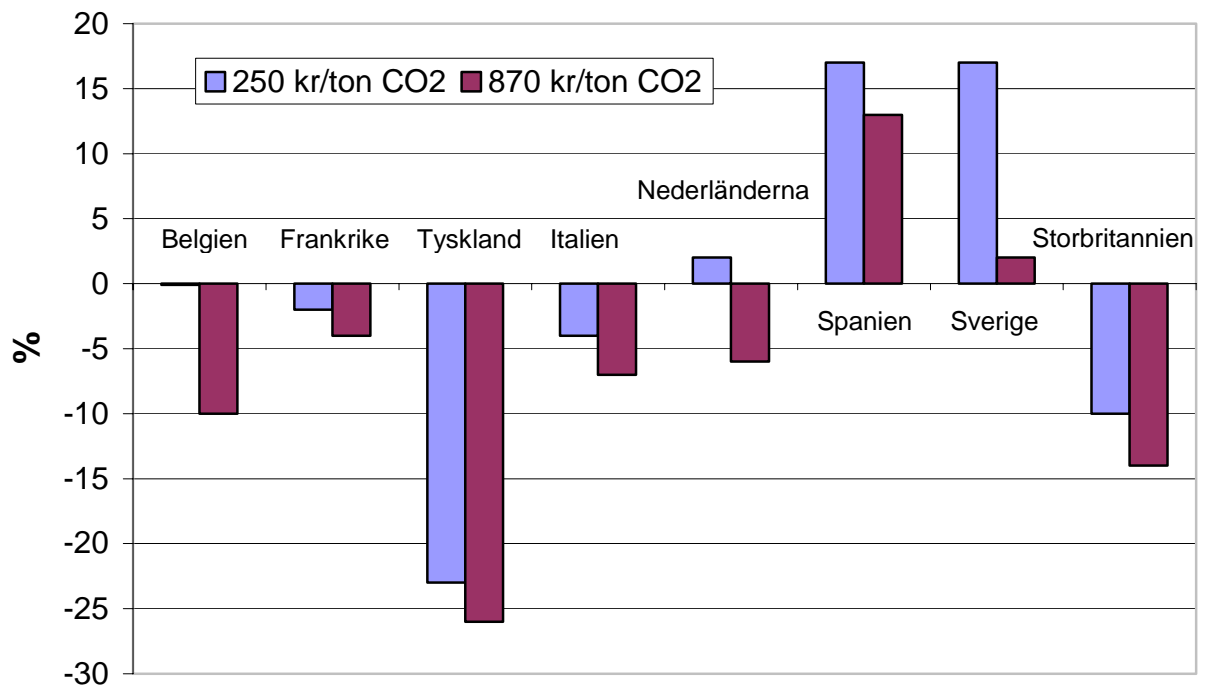
Figur 3 bekräftar de tendenser som framgick av tabell 2. Marginalkostnaden är låg i USA, medelhög inom EU och hög för Japan. Kostnaden för EU:s åtagande, - 8 %, kan med ledning av figuren uppskattas till 350 kr/ton CO<sub>2</sub>, eller 35 öre/kg CO<sub>2</sub>. Detta kan jämföras med den svenska koldioxidskatten, 62 öre/kg CO<sub>2</sub>. I detta sammanhang måste man dock komma ihåg att det förekommer omfattande skattenedsättningar i Sverige, vilket leder till att den ”effektiva” svenska skattenivån förmodligen är betydligt närmare 35 än 62 öre/kg CO<sub>2</sub>.

Marginalkostnaden för EU-området avser alltså att åtgärderna genomförs där det är mest kostnadseffektivt. Detta avspeglar därmed en situation där de nationella utsläppsmålen inte styr utan istället handel med utsläppsrätter inom en EU-bubbla, eller en gemensam CO<sub>2</sub>-skatt på en nivå som leder till att EU:s åtagande uppfylls. Om de nationella utsläppsmålen bibehålls, utan utnyttjande av flexibla mekanismer, kommer istället vissa länder att få högre marginalkostnad för CO<sub>2</sub>-reduktion medan andra länder får lägre marginalkostnad. Spridningen i marginalkostnad för CO<sub>2</sub>-reduktion för olika länder inom EU framgår av nästa avsnitt.

### 6.3 Resultande utsläppsnivå för olika länder inom EU vid givna marginalkostnadsnivåer

Inom EU förekommer stor spridning mellan marginalkostnaderna för koldioxidreduktion i olika medlemsländer. I figur 4 redovisas exempel på denna spridning. I figuren har vi valt att presentera vilken koldioxidreduktion två olika

marginalprisnivåer skulle ge. Detta skulle kunna översättas till vilken förändring av koldioxidutsläppen till år 2010, jämfört med 1990 års nivå, som två olika koldioxidskattenivåer skulle ge.



Figur 4: Förändring av koldioxidutsläppen till år 2010, jämfört med 1990 års nivå, vid två olika marginalprisnivåer för koldioxidreduktion

Av figuren framgår hur olika förhållandena är i olika länder inom EU. Enligt figuren är det exempelvis ungefär lika dyrt att begränsa de spanska koldioxidutsläppen till en ökning med 15 % som att i Tyskland minska utsläppen med 25 % (båda jämfört med 1990 års utsläpp)! Exempel på länder med höga kostnader för koldioxidreduktion är Spanien och Sverige, medan Tyskland och Storbritannien är exempel på länder med låga kostnader för koldioxidreduktion.

Beräkningarna i figuren är gjorda med PRIMES-modellen. Vi har också tagit del av liknande beräkningar utförda med en annan modell, GEM-E3. Resultaten är likartade. GEM-E3 visar dock på något större koldioxidreduktion vid en hög marginalkostnadsnivå. En komplett resultatredovisning finns i bilaga 1.

#### 6.4 Diskussion

De presenterade marginalkostnadsberäkningarna antyder att den bördefördelning som ingår i Kyotoprotokollet och i EU:s efterföljande interna bördefördelning är relativt ogynnsam för Sverige. Med handel mellan alla Annex B länder indikerar de refererade beräkningar en marginalkostnad på 250 SEK/ton CO<sub>2</sub> (24 USD/ton CO<sub>2</sub>). Marginalkostnaden för EU att gemensamt nå sitt utsläppsåtagande, -8 %, hamnar på ca 350 SEK/ton CO<sub>2</sub>.

Vid dessa marginalkostnadsnivåer hamnar det svenska koldioxidutsläppen på +17 % respektive +15 %. Vårt verkliga åtagande efter EU:s bördefördelning är +4 % vilket är avsevärt strängare än både Annex B ländernas och EU ländernas medelvärde av marginalkostnader. Om marginalkostnaden för koldioxidreduktion kan sägas vara ett mått på ”rättvis bördefördelning” kan man konstatera att Sverige anstränger sig mer än de flesta andra länder. Det svenska ”självpåtagna” klimatmålet, -4 %, medför att Sverige avviker ännu mer från medelvärdet.

## 7. Marginalkostnad för CO<sub>2</sub>-begränsning, exempel från litteraturen för olika länder<sup>23</sup>

Om inget annat anges avser utsläppsreduktionen den procentuella minskningen i förhållande till verkligt utsläpp 1990. Marginalkostnaderna uttrycks som monetär enhet per ton CO<sub>2</sub>. I flera av referenserna redovisas istället per ton C. Detta har i förekommande fall räknats om genom att dividera med 3,67. Inom parentes anges i förekommande fall namnet på den modell som utnyttjats för att räkna fram marginalkostnaden.

Land	CO <sub>2</sub> -reduktion, jmf. 1990	Årtal	Marginalkostnad	Referens
Finland	+/- 0 %	2010	265 FIM/ton	1 (EFOM)
	- 7 %	2030	295 FIM/ton	1 (EFOM)
Världen	+/- 0 %	2010	49 USD/ton	2 (POLES)
	- 10 %	2010	77 USD/ton	2 (POLES)
USA	+/-0 %	2010	14 USD/ton	2 (POLES)
	- 10 %	2010	25 USD/ton	2 (POLES)
Japan	+/-0 %	2010	45 USD/ton	2 (POLES)
	- 10 %	2010	76 USD/ton	2 (POLES)
Australien <sup>24</sup>	+/-0 %	2010	33 USD/ton	2 (POLES)
	- 10 %	2010	41 USD/ton	2 (POLES)
EU	+/-0 %	2010	19 USD/ton	2 (POLES)
	- 10 %	2010	38 USD/ton	2 (POLES)

<sup>23</sup> Referenser:

1. Lehtilä, A., Tuhkanen, S.: ”Integrated cost-effectiveness analysis of greenhouse gas emission abatement – the case Finland”, VTT publications 374, Espoo 1999
2. Capros, P., Georgakopoulos, T., Mantzos, L.: ”Economic and energy system implications of the European CO<sub>2</sub> mitigation strategy for 2010: a modelbased analysis”, Int. J. Environment and Pollution, Vol. 10, Nos. 3/4, 1998
3. Criqui, P., Mima, S., Viguiet, L.: ”Marginal abatement costs of CO<sub>2</sub> emission reductions, geographical flexibility and concrete ceilings: an assessment using the POLES model, Energy Policy 27 (1999) 585-601
4. ”Reduksjon av klimagassutslipp i Norge – en tiltaksanalyse for 2010”, SFT-rapport, Oslo, 2000

<sup>24</sup> Inkl. Nya Zeeland



Belgien	- 0 %	2010	27 EUR <sup>25</sup> /ton	2 (PRIMES)
	- 10 %	2010	95 EUR/ton	2 (PRIMES)
Frankrike	- 2 %	2010	27 EUR/ton	2 (PRIMES)
	- 4 %	2010	95 EUR/ton	2 (PRIMES)
Tyskland	- 23 %	2010	27 EUR/ton	2 (PRIMES)
	- 26 %	2010	95 EUR/ton	2 (PRIMES)
Italien	- 4 %	2010	27 EUR/ton	2 (PRIMES)
	- 7 %	2010	95 EUR/ton	2 (PRIMES)
Nederländerna	+ 2 %	2010	27 EUR/ton	2 (PRIMES)
	- 6 %	2010	95 EUR/ton	2 (PRIMES)
Spanien	+ 17 %	2010	27 EUR/ton	2 (PRIMES)
	+ 13 %	2010	95 EUR/ton	2 (PRIMES)
Sverige	+ 17 %	2010	27 EUR/ton	2 (PRIMES)
	+ 2 %	2010	95 EUR/ton	2 (PRIMES)
Storbritannien	- 10 %	2010	27 EUR/ton	2 (PRIMES)
	- 14 %	2010	95 EUR/ton	2 (PRIMES)
”EU-8” (ovan)	+/- 0 %	2010	6 EUR/ton	2 (PRIMES)
	- 10 %	2010	33 EUR/ton	2 (PRIMES)
<b>Land</b>	<b>CO<sub>2</sub>- reduktion, jmf. 1990</b>	<b>Årtal</b>	<b>Marginalkostnad</b>	<b>Referens</b>
Österrike	- 8 %	2010	27 EUR/ton	2 (GEM-E3)
	- 23 %	2010	95 EUR/ton	2 (GEM-E3)
Belgien	+/- 0 %	2010	27 EUR/ton	2 (GEM-E3)
	- 18 %	2010	95 EUR/ton	2 (GEM-E3)
Danmark	- 4 %	2010	27 EUR/ton	2 (GEM-E3)
	- 18 %	2010	95 EUR/ton	2 (GEM-E3)
Finland	+ 19 %	2010	27 EUR/ton	2 (GEM-E3)
	- 2 %	2010	95 EUR/ton	2 (GEM-E3)
Frankrike	- 5 %	2010	27 EUR/ton	2 (GEM-E3)
	- 17 %	2010	95 EUR/ton	2 (GEM-E3)
Tyskland	- 18 %	2010	27 EUR/ton	2 (GEM-E3)
	- 30 %	2010	95 EUR/ton	2 (GEM-E3)
Grekland	+ 22 %	2010	27 EUR/ton	2 (GEM-E3)
	- 1 %	2010	95 EUR/ton	2 (GEM-E3)
Irland	+ 6 %	2010	27 EUR/ton	2 (GEM-E3)
	- 12 %	2010	95 EUR/ton	2 (GEM-E3)
Italien	+ 5 %	2010	27 EUR/ton	2 (GEM-E3)
	- 10 %	2010	95 EUR/ton	2 (GEM-E3)
Nederländerna	+ 13 %	2010	27 EUR/ton	2 (GEM-E3)
	- 2 %	2010	95 EUR/ton	2 (GEM-E3)
Portugal	+ 40 %	2010	27 EUR/ton	2 (GEM-E3)
	+ 19 %	2010	95 EUR/ton	2 (GEM-E3)

<sup>25</sup> (1990)EUR

Spanien	+ 21 %	2010	27 EUR/ton	2 (GEM-E3)
	+ 1 %	2010	95 EUR/ton	2 (GEM-E3)
Sverige	+ 18 %	2010	27 EUR/ton	2 (GEM-E3)
	+ 3 %	2010	95 EUR/ton	2 (GEM-E3)
Storbritannien	- 12 %	2010	27 EUR/ton	2 (GEM-E3)
	- 27 %	2010	95 EUR/ton	2 (GEM-E3)
”EU-14” (ovan)	+/- 0 %	2010	16 EUR/ton	2 (GEM-E3)
	- 10 %	2010	48 EUR/ton	2 (GEM-E3)
USA	+/- 0 %	2010	30 USD <sup>26</sup> /ton	3 (POLES)
	- 10 %	2010	46 USD/ton	3 (POLES)
EU	+/- 0 %	2010	25 USD/ton	3 (POLES)
	- 10 %	2010	52 USD/ton	3 (POLES)
Japan	+/- 0 %	2010	35 USD/ton	3 (POLES)
	- 10 %	2010	74 USD/ton	3 (POLES)
f.d. Sovjet	- 35 %	2010	0 USD/ton	3 (POLES)
	- 50 %	2010	22 USD/ton	3 (POLES)
övriga ”öststater”	+/- 0 %	2010	13 USD/ton	3 (POLES)
	- 10 %	2010	26 USD/ton	3 (POLES)
övriga ”annex B”	+/- 0 %	2010	68 USD/ton	3 (POLES)
	- 10 %	2010	82 USD/ton	3 (POLES)
non-annex B	+ 50 %	2010	22 USD/ton	3 (POLES)
	+ 25 %	2010	51 USD/ton	3 (POLES)

Land	CO <sub>2</sub> -reduktion, jmf. 1990	Årtal	Marginalkostnad	Referens
USA	+/- 0 %	2010	43 USD <sup>27</sup> /ton	3 (EPPA)
	- 10 %	2010	69 USD/ton	3 (EPPA)
EU	+/- 0 %	2010	60 USD/ton	3 (EPPA)
	- 10 %	2010	100 USD/ton	3 (EPPA)
Japan	+/- 0 %	2010	> 100 USD/ton	3 (EPPA)
	- 10 %	2010	> 100 USD/ton	3 (EPPA)
f.d. Sovjet	- 35 %	2010	26 USD/ton	3 (EPPA)
	- 50 %	2010	76 USD/ton	3 (EPPA)
övriga ”öststater”	+/- 0 %	2010	42 USD/ton	3 (EPPA)
	- 10 %	2010	61 USD/ton	3 (EPPA)
övriga ”annex B”	+/- 0 %	2010	60 USD/ton	3 (EPPA)
	- 10 %	2010	90 USD/ton	3 (EPPA)

<sup>26</sup> (1990)USD

<sup>27</sup> (1990)USD

non-annex B	+ 50 %	2010	14 USD/ton	3 (EPPA)
	+ 25 %	2010	30 USD/ton	3 (EPPA)
	+/- 0 %	2010	46 USD/ton	3 (EPPA)
Norge	+1 %	2010	1000 NOK/ton	4
	+ 10 %	2010	290 NOK/ton	4

Marginalkostnaderna omräknade till svenska kronor redovisas i tabellerna nedan. Vi har antagit följande valutakurser (2002-04-19):

- 1 USD = 10,3 SEK
- 1 EUR = 9,2 SEK
- 1 NOK = 1,20 SEK
- 1 FIM = 1,55 SEK

Land	CO <sub>2</sub> - reduktion, jmf. 1990	Årtal	Marginalkostnad	Referens
Finland	+/- 0 %	2010	410 SEK/ton	1 (EFOM)
	- 7 %	2030	460 SEK/ton	1 (EFOM)
Världen	+/- 0 %	2010	500 SEK/ton	2 (POLES)
	- 10 %	2010	790 SEK/ton	2 (POLES)
USA	+/-0 %	2010	140 SEK/ton	2 (POLES)
	- 10 %	2010	260 SEK/ton	2 (POLES)
Japan	+/-0 %	2010	460 SEK/ton	2 (POLES)
	- 10 %	2010	780 SEK/ton	2 (POLES)
Australien <sup>28</sup>	+/-0 %	2010	340 SEK/ton	2 (POLES)
	- 10 %	2010	420 SEK/ton	2 (POLES)
EU	+/-0 %	2010	200 SEK/ton	2 (POLES)
	- 10 %	2010	390 SEK/ton	2 (POLES)
Belgien	- 0 %	2010	250 SEK/ton	2 (PRIMES)
	- 10 %	2010	870 SEK/ton	2 (PRIMES)
Frankrike	- 2 %	2010	250 SEK/ton	2 (PRIMES)
	- 4 %	2010	870 SEK/ton	2 (PRIMES)
Tyskland	- 23 %	2010	250 SEK/ton	2 (PRIMES)
	- 26 %	2010	870 SEK/ton	2 (PRIMES)
Italien	- 4 %	2010	250 SEK/ton	2 (PRIMES)
	- 7 %	2010	870 SEK/ton	2 (PRIMES)
Nederländerna	+ 2 %	2010	250 SEK/ton	2 (PRIMES)

<sup>28</sup> Inkl. Nya Zeeland

	- 6 %	2010	870 SEK/ton	2 (PRIMES)
Spanien	+ 17 %	2010	250 SEK/ton	2 (PRIMES)
	+ 13 %	2010	870 SEK/ton	2 (PRIMES)
Sverige	+ 17 %	2010	250 SEK/ton	2 (PRIMES)
	+ 2 %	2010	870 SEK/ton	2 (PRIMES)
Storbritannien	- 10 %	2010	250 SEK/ton	2 (PRIMES)
	- 14 %	2010	870 SEK/ton	2 (PRIMES)
”EU-8” (ovan)	+/- 0 %	2010	55 SEK/ton	2 (PRIMES)
	- 10 %	2010	300 SEK/ton	2 (PRIMES)

Land	CO <sub>2</sub> - reduktion, jmf. 1990	Årtal	Marginalkostnad	Referens
Österrike	- 8 %	2010	250 SEK/ton	2 (GEM-E3)
	- 23 %	2010	870 SEK/ton	2 (GEM-E3)
Belgien	+/- 0 %	2010	250 SEK/ton	2 (GEM-E3)
	- 18 %	2010	870 SEK/ton	2 (GEM-E3)
Danmark	- 4 %	2010	250 SEK/ton	2 (GEM-E3)
	- 18 %	2010	870 SEK/ton	2 (GEM-E3)
Finland	+ 19 %	2010	250 SEK/ton	2 (GEM-E3)
	- 2 %	2010	870 SEK/ton	2 (GEM-E3)
Frankrike	- 5 %	2010	250 SEK/ton	2 (GEM-E3)
	- 17 %	2010	870 SEK/ton	2 (GEM-E3)
Tyskland	- 18 %	2010	250 SEK/ton	2 (GEM-E3)
	- 30 %	2010	870 SEK/ton	2 (GEM-E3)
Grekland	+ 22 %	2010	250 SEK/ton	2 (GEM-E3)
	- 1 %	2010	870 SEK/ton	2 (GEM-E3)
Irland	+ 6 %	2010	250 SEK/ton	2 (GEM-E3)
	- 12 %	2010	870 SEK/ton	2 (GEM-E3)
Italien	+ 5 %	2010	250 SEK/ton	2 (GEM-E3)
	- 10 %	2010	870 SEK/ton	2 (GEM-E3)
Nederländerna	+ 13 %	2010	250 SEK/ton	2 (GEM-E3)
	- 2 %	2010	870 SEK/ton	2 (GEM-E3)
Portugal	+ 40 %	2010	250 SEK/ton	2 (GEM-E3)
	+ 19 %	2010	870 SEK/ton	2 (GEM-E3)
Spanien	+ 21 %	2010	250 SEK/ton	2 (GEM-E3)
	+ 1 %	2010	870 SEK/ton	2 (GEM-E3)
Sverige	+ 18 %	2010	250 SEK/ton	2 (GEM-E3)
	+ 3 %	2010	870 SEK/ton	2 (GEM-E3)
Storbritannien	- 12 %	2010	250 SEK/ton	2 (GEM-E3)
	- 27 %	2010	870 SEK/ton	2 (GEM-E3)
”EU-14” (ovan)	+/- 0 %	2010	150 SEK/ton	2 (GEM-E3)
	- 10 %	2010	440 SEK/ton	2 (GEM-E3)
USA	+/- 0 %	2010	310 SEK/ton	3 (POLES)
	- 10 %	2010	470 SEK/ton	3 (POLES)

EU	+/- 0 %	2010	260 SEK/ton	3 (POLES)
	- 10 %	2010	540 SEK/ton	3 (POLES)
Japan	+/- 0 %	2010	360 SEK/ton	3 (POLES)
	- 10 %	2010	760 SEK/ton	3 (POLES)
f.d. Sovjet	- 35 %	2010	0 SEK/ton	3 (POLES)
	- 50 %	2010	230 SEK/ton	3 (POLES)
övriga ”öststater”	+/- 0 %	2010	130 SEK/ton	3 (POLES)
	- 10 %	2010	270 SEK/ton	3 (POLES)
övriga ”annex B”	+/- 0 %	2010	700 SEK/ton	3 (POLES)
	- 10 %	2010	840 SEK/ton	3 (POLES)
non-annex B	+ 50 %	2010	230 SEK/ton	3 (POLES)
	+ 25 %	2010	520 SEK/ton	3 (POLES)

Land	CO <sub>2</sub> - reduktion, jmf. 1990	Årtal	Marginalkostnad	Referens
USA	+/- 0 %	2010	440 SEK/ton	3 (EPPA)
	- 10 %	2010	710 SEK/ton	3 (EPPA)
EU	+/- 0 %	2010	620 SEK/ton	3 (EPPA)
	- 10 %	2010	1000 SEK/ton	3 (EPPA)
Japan	+/- 0 %	2010	> 1000 SEK/ton	3 (EPPA)
	- 10 %	2010	> 1000 SEK/ton	3 (EPPA)
f.d. Sovjet	- 35 %	2010	270 SEK/ton	3 (EPPA)
	- 50 %	2010	780 SEK/ton	3 (EPPA)
övriga ”öststater”	+/- 0 %	2010	430 SEK/ton	3 (EPPA)
	- 10 %	2010	630 SEK/ton	3 (EPPA)
övriga ”annex B”	+/- 0 %	2010	620 SEK/ton	3 (EPPA)
	- 10 %	2010	930 SEK/ton	3 (EPPA)
non-annex B	+ 50 %	2010	140 SEK/ton	3 (EPPA)
	+ 25 %	2010	310 SEK/ton	3 (EPPA)
	+/- 0 %	2010	470 SEK/ton	3 (EPPA)
Norge	+1 %	2010	1200 SEK/ton	4
	+ 10 %	2010	350 SEK/ton	4





***Energimyndigheten***

Statens energimyndighet • Box 310 • 631 04 Eskilstuna  
Besöksadress Kungsgatan 43  
Telefon 016-544 20 00 • Telefax 016-544 20 99  
stem@stem.se • www.stem.se