

**Investeringar i energi, växthuseffekten,  
klimatförändringar, prognoser, vad kan vi  
göra, utsläppsrätter, lagring, avskiljning av  
koldioxid och kväve.**

Energikunskap 10 p. Fall 5

Stefan A. Johansson  
Uppsala universitet  
Helsingborg  
2004-05-28

stefanajohansson@yahoo.se

## Sammanfattning

Världen står inför en stor utmaning när det gäller investeringar i energi. Över 16 000 miljarder (16 triljoner) amerikanska dollar krävs fram till år 2030. Investeringarna är ojämnt fördelade. Hälften av dem behövs i U-länderna. Enbart Kina behöver investera 2,3 triljoner dollar, motsvarande 14 % av totalbehovet i världen. OECD/Nordamerika tar största andelen, 3,5 triljoner USD.

El-sektorn förväntas dominera världens energiinvesteringar. Här ska 10 av 16 triljoner dollar satsas, dvs 60 % av den totala investeringen. Den globala efterfrågan på el fördubblas fram till 2030. Installerad effekt beräknas öka från 3 500 GW idag till 7 150 GW. Eftersom 1 000 GW samtidigt ska tas ur drift betyder det att kraftbolagen måste bygga 4 700 GW på 30 år för 4 triljoner dollar.

IEA menar att transmissions och distributionssektorn kräver ännu större investeringar än produktionen. Inte minst utvecklingsländerna behöver nya nät. Överföringsförlusterna i t ex Indien, Brasilien, Ryssland, och Afrika ligger på 12 % eller mer av totala elproduktionen. Investeringarna räcker inte till. IEAs prognoser ger inget hopp för jordens fattigaste. 1,4 miljarder människor förblir utan el trots de 16 triljonerna. Ytterligare 665 miljarder dollar krävs för att alla ska få tillgång till el.

Biobränslen är idag det viktigaste alternativet till fossila bränslen. Ett problem är bristen på mark. År 2050, med tio miljarder människor på jorden är den tillgängliga landytan per person mindre än 1 hektar (100 x 100 m). Kärnkraften ligger tillsammans med vattenkraften på en delad andraplats när det gäller energiproduktion. Utbyggnadstakten är långsam för närvarande. Om denna utveckling inte bryts kommer kärnkraftens andel av energitillförseln att minska. Potentialen är betydande och kostnaderna rimliga.

När det gäller vattenkraften är möjligheterna att kraftigt öka produktionen av bl. a. miljöskäl inte stora. Vindkraften står i dag endast för ca 0,02 % av energitillförseln. Den har rimliga kostnader och kan förväntas öka snabbt. Liksom när det gäller biobränslen kan tillgången på mark bli en begränsande faktor. Solenergin har en stor potential, men är ännu så länge dyr. Tack vare växthuseffekten kan vi leva här på jorden. Utan den skulle medeltemperaturen vara -18 °C istället för som nu +15 °C. Växthuseffekten uppkommer genom att atmosfärens gaser släpper igenom det mesta av det kortvågiga ljuset från solen, medan vissa av dem bromsar jordens läckage av långvågig värmestrålning ut till världsrymden. Absorptionen av långvågsstrålning sker inom vissa våglängdsområden. Det är detta fenomen som kallas för växthuseffekten.

Koldioxid är den enskilt största växthusgasen. I atmosfären avges och absorberas koldioxid hela tiden. De saker som absorberar koldioxid kallas också för "sänkor". De omfattar alla jordens och havens växter. Saker som i stället ger ifrån sig koldioxid kallas "källor". Många källor är människans verk. Att t.ex. bränna ved, olja, gas och kol frigör koldioxid.

Klimatförändringar är ett komplext miljöproblem. För att kunna begränsa riskerna för framtida klimatförändringar kommer alla samhällssektorer att beröras och genomgripande omställningar i samhället samt på individnivå att krävas. Lösningarna kommer att påverka även de ekonomiska och sociala dimensionerna av hållbar utveckling. Hänsyn till effekter på växthuseffekten måste vägas in i alla handlingar och beslut hos alla samhällsgrupper och i alla politikområden för att få till ett målmedvetet åtgärdsarbete.

Tillgångarna på fossila bränslen är inte så stora att vi på längre sikt skulle kunna åstadkomma den klimatpåverkan genom växthuseffekten som förutses av IPCC.

De fossila bränslenas priskänslighet tyder på att införandet av handel med utsläppsrätter och miljöskatter skulle kunna vara en framgångsrik väg för att bekämpa växthuseffekten.

Koldioxid kan slutlagras. Det görs sedan 1996 i Nordsjön. Teknik för avskiljning av koldioxid och kväve finns framtagen i dag. Priset på utsläppsrätter kommer att göra kommersiella kraftverk där koldioxiden avskiljs för att lagras konkurrenskraftiga. Växthuseffekten minskar.

## Förord

Över 16 000 miljarder (16 triljoner) amerikanska dollar krävs i investeringar i energi fram till år 2030 enligt IEA.

Fortsätter vi att använda fossila bränslen i samma takt som vi gjort kan vi förvänta oss drastiska förändringar av klimatet och det kommer att ske med ökande hastighet. De växthusgaser vi släpper ut idag kommer att påverka jordens klimat flera hundra år framåt i tiden.

Framtida utsläpp av växthusgaser går knappast att förutsäga med nämndvärd tillförlitlighet. FN:s klimatpanel IPCC har i stället utarbetat scenarier för olika tänkbara samhälls- och utsläppsförändringar. Dessa har använts som utgångspunkt för modellräkningar av klimatets förändringar under de kommande hundra åren.

De 40 scenarier som presenteras kräver vissa mängder olja, naturgas och kol för att de skall vara möjliga att realisera. Är de realistiska?

Vad kan vi göra? Är miljöskatter och handel med utsläppsrätter en lösning för en minskning av växthuseffekten? Kan lagring, avskiljning av koldioxid och kväve vara en lösning på problemet?

Syftet med rapporten är att besvara frågorna och sprida kunskap om energi och miljö, samt att starta en debatt om vår framtida energiförsörjning.

## Innehållsförteckning

<b>INVESTERINGAR I ENERGI I FRAMTIDEN</b>	<b>6</b>
Störst behov i elsektorn	6
Störande faktorer	6
Ersättning av fosila brännen	6
<b>VÄXTHUSEFFEKTEN</b>	<b>7</b>
Koldioxid är den enskilt största växthusgasen.	8
Andra växthusgaser	9
Varför ökar växthuseffekten?	9
Vad händer om klimatet förändras?	10
Vad krävs för att bromsa klimatförändringen?	11
<b>KLIMATFÖRÄNDRINGAR</b>	<b>11</b>
Prognoser och scenarier	11
Energifaktorn	11
Varför ett 100-års perspektiv?	11
Klimatförändringar och naturmiljön	12
Klimatförändringar i samhället	12
Klimatförändringar i förindustriell tid	13
Klimatet hundra år framåt	13
Har klimatet redan förändrats?	13
Kan uppvärmningen vara naturlig?	14
Bevis för en global uppvärmning	17
Vad händer med klimatet i fortsättningen?	17
Varmare framtid	17
Golfströmmen avmattas	18
Vad kan förändra klimatet	18

<b>Ett oväder gör ingen klimatförändring</b>	<b>19</b>
<b>OREALISTISKA SCENARIER FÖR UTSLÄPP AV KOLDIOXID.</b>	<b>19</b>
Har IPCC tagit i för mycket?	20
Varierande beräkningar	21
Kol	21
Energikris	21
<b>VAD KAN VI GÖRA?</b>	<b>23</b>
EU	23
<b>MILJÖSKATTER OCH UTSLÄPPSRÄTTER</b>	<b>24</b>
Miljöskatter	24
Utsläppsrätter	24
<b>KOLDIOXID KAN SLUTLAGRAS</b>	<b>25</b>
<b>TEKNIK FÖR AVKILJNING AV KOLDIOXID OCH KVÄVE</b>	<b>27</b>
Svenska Vattenfall och koldioxidavskiljning	29
<b>SLUTSATSER</b>	<b>29</b>
<b>KÄLLFÖRTECKNING</b>	<b>29</b>
Figurförteckning	
GPW FAKTORER FÖR VÄXTHUSGASER .....	7
GLOBAL ÅRSMEDELTEMPERATUR 1861–2003, HADLEY CENTRE, ENGLAND.....	13
TEMPERATURFÖRÄNDRINGAR PÅ NORRA HALVKLOTET .....	14
SOLAKTIVITET .....	FEL! BOKMÄRKET ÄR INTE DEFINIERAT.
VULKANUTBROTT .....	15
KOLDIOXIDHALT I ATMOSFÄREN.....	16
JÄMFÖRELSE MED IPCC 40 SENARIER OCH VÄRLDENS PRODUKTION AV OLJA OCH GAS .	20
THE CAMPBELL-UPPSALA MODEL 2003 .....	21
DEN VÄXANDE KLYFTAN.....	22
EXXON MOBIL .....	22
VÄXTHUSGAS KÄLLOR.....	23
MÄNGDEN UTSLÄPPTA GASER INOM EU .....	23
SLEIPNERFÄLTET.....	26

## **Investeringar i energi i framtiden**

Världen står inför en gigantisk utmaning när det gäller investeringar i energi. Över 16 000 miljarder (16 triljoner) amerikanska dollar krävs fram till år 2030.

International Energy Agency, IEA har publicerat skriften "World Energy Investment Outlook 2003". 16 481 000 000 000 dollar behöver investeras i energisektorn globalt fram till år 2030. Det är mycket pengar, men det motsvarar bara 1 % av den beräknade globala BNP-volymen under samma tid.

Investeringarna är ojämnt fördelade.

Hälften av dem behövs i U-länderna, där efterfrågan och produktion förväntas växa mest.

Enbart Kina behöver investera 2,3 triljoner dollar, motsvarande 14 % av totalbehovet i världen.

OECD/Nordamerika tar största andelen, 3,5 triljoner USD. Ojämnheten slår också på annat sätt. OECDs totala energiinvesteringar motsvarar 0,5 % av BNP är siffran för Afrika 4 % och Ryssland 5 %.

### *Störst behov i elsektorn*

El-sektorn förväntas dominera världens energiinvesteringar. Här ska 10 av 16 triljoner dollar satsas, dvs. 60 % av den totala investeringen.

Den globala efterfrågan på el fördubblas fram till 2030. Installerad effekt beräknas öka från 3 500 GW idag till 7 150 GW. Eftersom 1 000 GW samtidigt ska tas ur drift betyder det att kraftbolagen måste bygga 4 700 GW på 30 år för 4 triljoner dollar.

El-sektorn består inte bara av produktion. IEA menar att transmissions och distributionssektorn kräver ännu större investeringar än produktionen.

Stamnäten växer globalt med nära 4 miljoner km. Det kostar 1,6 triljoner dollar, medan nya distributionsnät byggs för 3,8 triljoner dollar.

Inte minst utvecklingsländerna behöver nya nät. Överföringsförlusterna i t ex Indien, Brasilien, Ryssland, och Afrika ligger på 12 % eller mer av totala elproduktionen.

### *Störande faktorer*

IEA listar faktorer som påverkar investeringarna:

Energipriset, oljeprisutvecklingen styr kraftfullt, inte minst fossilalternativens utrymme.

Stora prissvängningar på avreglerade el- och gasmarknader.

Miljöpolitiken, klimatfrågan får kanske en helt avgörande inverkan på energiprisbildningen.

Teknikutvecklingen, nya möjligheter att utvinna olja och naturgas, bättre gasturbiner, ren kolteknik, förbättrade gastransporter, ökad användning av vätgas etc.

Investeringarna räcker inte till. IEAs prognoser ger inget hopp för jordens fattigaste. 1,4 miljarder människor förblir utan el trots de 16 triljonerna.

Ytterligare 665 miljarder dollar krävs för att alla ska få tillgång till el.

## **Ersättning av fosila bränslen**

Biobränslen är idag det viktigaste alternativet till fosila bränslen. Det har en betydande potential. Ett litet aber är bristen på mark. År 2050, med tio miljarder människor på jorden är den tillgängliga landytan per person mindre än 1 hektar. En yta på 100 x 100 m. Denna yta ska inte bara räcka till bostäder, fabriker, sjukhus, parkeringsplatser, utan även till åkrar, betesmarker, skogar och orörd mark. Kärnkraften ligger tillsammans med vattenkraften på en delad andraplats när det gäller energiproduktion. Utbyggnadstakten är långsam för närvarande. Om denna utveckling inte bryts kommer kärnkraftens andel av energitillförseln att minska. Potentialen är betydande och kostnaderna rimliga.

När det gäller vattenkraften är möjligheterna att kraftigt öka produktionen av bl. a. miljöskäl inte stora. Vindkraften står i dag endast för ca 0,02 % av energitillförseln. Den har rimliga

kostnader och kan förväntas öka snabbt. Liksom när det gäller biobränslen kan tillgången på mark bli en begränsande faktor. Solenergin har en stor potential, men är ännu så länge dyr. Allt vi kan hoppas är att kostnaderna ska minska.

### Växthuseffekten

Det är egentligen tack vare växthuseffekten som vi kan leva här på jorden. Utan den skulle medeltemperaturen vara  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  istället för som nu,  $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Växthuseffekten uppkommer genom att atmosfärens gaser släpper igenom det mesta av det kortvågiga ljuset från solen, medan vissa av dem bromsar jordens läckage av långvågig värmestrålning ut till världsrymden. Absorptionen av långvågsstrålning sker inom vissa våglängdsområden. Det är detta fenomen som kallas för växthuseffekten.

Naturliga händelser som vi inte kan påverka har inverkan på växthuseffekten. Stora vulkanutbrott ökar antalet små partiklar i atmosfären och påverkar solinstrålningen.

Variationer i havsströmmar ändrar fördelningen av värmen och nederbörden.

Fenomen som El Niño, periodvis temperatur ökning av östra tropiska Stilla Havs regionen och förskjutning av kalla havsströmmar längs Sydamerikas västra kust, har inverkan på vädret i hela världen. Vissa regioner får ökad nederbörd medan andra drabbas av torka.

Alla dessa är naturliga förändringar och jorden har drabbats av perioder med mycket kallare klimat, istider. Detta beror på variationer av solens instrålning och halten av växthusgaser i atmosfären. Vid hög vulkan aktivitet kan jorden kylas ner p.g.a. att ökad partikelhalt i atmosfären hindrar solinstrålningen. Samtidigt har jorden upplevt perioder av varmare klimat, ett sådant som vi befinner oss i just nu.

Växthuseffekten påverkas huvudsakligen av de tre gaserna: vattenånga, koldioxid  $\text{CO}_2$  och metan  $\text{CH}_4$ .

Växthuseffekten förstärks ytterligare av att atmosfären också tillförs helt nya växthusgaser, framställda av människan. Dit hör framför allt vissa fluorhaltiga ämnen, såsom CFC klorfluorkarboner eller freoner. Användningen av CFC-ämnena har nu kraftigt begränsats, främst på grund av deras förmåga att bryta ned ozonskiktet uppe i stratosfären. I stället för dem har man i många sammanhang börjat utnyttja HFC fluorkolväten, som saknar inverkan på ozonskiktet. Som växthusgaser är HFC-ämnena fullt jämförbara med CFC, och de uppträder numera i snabbt ökande halter i atmosfären.

Koldioxiden är viktigast bland de växthusgaser som släpps ut. Till familjen växthusgaser finns dessutom ytterligare ett antal andra gaser: metan  $\text{CH}_4$ , dikväveoxid, lustgas,  $\text{N}_2\text{O}$ , freoner CFC-KlorFlourKarboner, fotokemisk smog, marknära ozon,  $\text{O}_3$ .

Deras bidrag kan jämföras och adderas till varandra om man multiplicerar mängden av varje enskild växthusgas med dess GPW-faktor (Global warming potential). Denna faktor anger hur effektiv gasen är som klimatpåverkare i förhållande till koldioxiden, vanligen sett i ett hundraårsperspektiv ( $\text{GWP}_{100}$ ).

Annorlunda uttryckt kan man på detta sätt räkna om utsläppen av olika växthusgaser i koldioxidekvivalenter. Nedan anges de viktigaste växthusgasernas GWP-faktorer enligt FN:s klimatpanel 2001:

#### GPW FAKTORER FÖR VÄXTHUSGASER

Gas	$\text{GWP}_{100}$
$\text{CO}_2$ koldioxid	1
$\text{CH}_4$ metan	23
$\text{N}_2\text{O}$ dikväveoxid	296
HFC 134a ett av fluorkolvätena	1300
$\text{CF}_4$ en fluorkarbon, dvs. en PFC	5700
$\text{SF}_6$ svavelhexafluorid	22200

Vattenångan står för ca 80 % av växthuseffekten, men eftersom människan inte kan påverka mängden vattenånga i atmosfären så är det framförallt koldioxid som man talar i samband

med växthuseffekten. Ökar dessa och andra växthusgaser i atmosfärens luftlager ökar jordens medeltemperatur. Under de senaste 150 åren har människan genom utsläpp ökat luftens halt av växthusgaser och därmed förstärkt den naturliga växthuseffekten.

*Koldioxid är den enskilt största växthusgasen.*

I atmosfären avges och absorberas koldioxid hela tiden. När vi t.ex. andas, så andas vi in syre och andas ut koldioxid. De saker som absorberar koldioxid kallas också för "sänkor". De omfattar alla jordens och havens växter. Saker som i stället ger ifrån sig koldioxid kallas "källor". Många källor är människans verk. Att t.ex. bränna ved, olja, gas och kol frigör koldioxid.

För bara ett århundrade sedan existerade inte elektriciteten, och det viktigaste färdmedlet var hästen. Mängden av koldioxid som frigjordes var därför ungefär densamma som den som absorberades hela tiden. Kvantiteten av koldioxid förblev med andra ord stabil.

I dag frigörs varje år ca 6-7 miljarder ton koldioxid, framför allt genom energiförbrukningen vid industrier, transporter, kraftstationer, våra hem osv. Därför har koldioxidkällorna ökat dramatiskt. Inte bara det, sänkor, dvs. platser som absorberar koldioxid har också reducerats. Stora skogsområden, speciellt i Sydamerika och Sydostasien, har huggits ner eller bränts, vilket har frigjort ännu mer koldioxid i atmosfären.

Vi producerar alltså mer koldioxid och har samtidigt färre sänkor som absorberar den och därför har den totala koncentrationen av koldioxid ökat kraftigt. Det betyder att fler infraröda strålar reflekteras tillbaka till jorden - så att jorden håller på att värmas upp.

För bara ett århundrade sedan existerade inte elektriciteten, och det viktigaste färdmedlet var hästen. Mängden av koldioxid som frigjordes var därför ungefär densamma som den som absorberades hela tiden. Medel kvantiteten av koldioxid förblev med andra ord stabil.

Halten av växthusgaser i atmosfären ökar, speciellt koldioxid som har ökat med 30 % under de senaste 200 åren. En period som väl överensstämmer med människans industrialisering och användande av fossila bränslen. Under denna period har människan påverkat jorden genom ett flertal faktorer: Skogar har huggits ner, kol har brutits i ökande omfattning och används till förbränning, användandet av kol, olja och gas bidrar med mer än 80 % av koldioxiden i atmosfären.

När skogen huggs ner återförs den koldioxid som träden bundit upp genom fotosyntesen till atmosfären. Detta kan åtgärdas genom nya planteringar dock med en förlust av den biologiska mångfalden. I stora delar av världen sker inte detta i samma omfattning som avskogningen och en nettotillförsel av koldioxid sker till atmosfären.

Koldioxid bildas även vid all förbränning: i din egen kropp, i vedbrasan, uppvärmning av hus, produktion av energi och elektricitet, när du kör bil, åker båt eller flyger.

Utsläppen i samband med förbränning är dessutom orsaken till flera av vår tids stora miljöproblem, sura regn, marknära ozon, övergödning samt spridningen av kemikalier i ekosystemen. Detta gäller även bilar med katalysator.

Två tredjedelar av tillförseln av koldioxid i atmosfären kommer från förbränning av olja, den dominerande energikällan i världen idag. Hälften av denna olja förbränns i bilmotorer. Bilen svarar alltså för en femtedel av utsläppen av koldioxid och siffran ökar i alarmerande takt.

Varje sekund tillverkas en ny bil.

Om trenden att använda kol, olja och gas fortsätter i den omfattning vi har idag kommer halten av koldioxid att fördubblas vid slutet på detta århundrade. Ett flertal av de andra växthusgaserna kommer också att öka betydligt.

Akkumuleringen av växthusgaserna kommer att öka temperaturen på jorden genom en förstärkning av växthuseffekten. Endast på ett fåtal platser på jorden väntas temperaturen minska, det är områden med hög koncentration av luftföroreningar som kan hämma solens instrålning. En allvarlig effekt av den ökande halten av växthusgaser är dess "tröghet". Med detta menas att de kommer att påverka klimatet lång tid framöver även om utsläppen skulle upphöra helt eller minska drastiskt.

### *Andra växthusgaser*

Metan CH<sub>4</sub>, dikväveoxid lustgas, N<sub>2</sub>O, freoner CFC-KlorFlourKarboner, fotokemisk smog, marknära ozon, O<sub>3</sub>.

Metan är den näst vanligaste växthusgasen om man avser antropogena källor. Den bildas vid riskultivering, djurhållning och när hushållsavfall bryts ner på soptippar eller i komposten.

Vid oljeutvinning, kolbrytning och pipelines för gas läcker metan tillbaka till atmosfären.

Halten är 145 % högre än vad som är normalt pga. mänsklig aktivitet.

Dikväveoxid, lustgas bildas vid olika aktiviteter inom jordbruket och hos industrin. Halten är 15 % högre än vad som är normalt pga. mänsklig aktivitet.

Klorflourkarboner, CFC har använts flitigt som kylmedel i kylskåp, luftkonditionering och som drivgas i sprayflaskor. Dessa gaser har förbjudits genom ett internationellt avtal pga. att de förstörde ozonlagret i stratosfären. Andra gaser som används som komplement för CFC: fungerar istället som växthusgaser. Dessa bidrar idag inte mycket klimatförändringarna men halterna ökar konstant. Freoner används och tillverkas fortfarande trots förbudet.

Ozon i troposfären, dvs. I den lägre delen av atmosfären är en viktig växthusgas som härrör från industrin. Gasen bildas även när solljus träffar kväveoxider som kommer från motorer. Detta kallas fotokemisk smog eller marknära ozon. Gasen är giftig och verkar skadligt på grödor och människor.

### *Varför ökar växthuseffekten?*

FNs klimatpanel som består av flera hundra ledande klimatforskare i världen har utifrån den samlade klimatforskningen och med hänsyn till de osäkerheter som kvarstår kommit till

slutsatsen att den globala uppvärmningen under de sista 50 åren sannolikt beror på människans utsläpp av växthusgaser. I denna slutsats har man även vägt in att klimatet

varierar naturligt, från år till år och med långvariga cykler. En del forskare har velat förklara

1900-talets temperaturhöjning med en naturlig ökning av solinstrålningen. FNs klimatpanel

har analyserat solinstrålningen under 1900-talet och lagt in detta i de globala

klimatmodellerna. Deras slutsats är att solinstrålningen har ökat men kan bara svara för en

mindre del av den temperaturhöjning som skett och detta främst för första halvan av 1900-

talet. Klimatforskarna har kommit fram till att temperaturhöjningen under de senaste 50 åren kan förklaras endast om bidrag från mänskliga utsläpp av växthusgaser inräknas.

Människans användning av fossila bränslen, i industrin, för transporter, i elproduktion och för uppvärmning ger utsläpp av koldioxid som skapar ökad växthuseffekt. Växthuseffekten höjer

temperaturen på jorden vilket påverkar jordens klimat. För varje år som går blir det allt

tydligare att människans utsläpp av växthusgaser påverkar klimatet.

Människans utsläpp av koldioxid, som är en växthusgas, skapar ökad växthuseffekt.

Koldioxid ingår i kolets naturliga kretslopp som löper mellan atmosfären, hav och land.

Genom att atmosfären nu tillförs mer koldioxid än vad växtligheten och haven kan ta emot har systemet rubbats. Koldioxid bildas vid förbränning och kan renas bort med den teknik som

finns idag (se koldioxidseparering). Att koldioxidhalten ökar beror framförallt på den ökade

användningen av fossila bränslen. Vid förbränningen frigörs kol som legat bundet i jorden i

form av kol, olja och naturgas sedan miljoner år. Varje bensin- eller dieseldriven bil, varje

oljepanna och all el som produceras av fossileldade kraftverk bidrar till den ökande

koncentrationen av koldioxid. Av världens energikonsumtion kommer ca 80 % från fossila bränslen.

I-ländernas användning av energi- och naturresurser är huvudorsaken till klimatförändringarna.

I-länderna bär ansvaret för 80 % av utsläppen av växthusgaser och deras årliga utsläpp uppgår i snitt till ca 10 ton koldioxid per capita medan u-ländernas utsläpp är ca 2,5 ton koldioxid per capita. Dessa skillnader är på sikt inte hållbara. För att ge möjlighet för utvecklingsländerna

att öka sin välfärd behöver deras resursanvändning tillåtas öka. Användningen av en resurs som fossila bränslen måste bli mer rättvist fördelad över jorden samtidigt som den totalt måste halveras under detta sekel för att kunna uppfylla åtagandena i klimatkonventionen. Det är I-ländernas ansvar att ta ledningen i åtgärdsarbetet och samtidigt bidra till att dagens utvecklingsländer ges utrymme för ökad välfärd. Skall vi klara detta är det i I-länderna som utsläppen måste minska. På sikt blir det viktigt att även få u-länderna att åta sig att begränsa sina utsläpp då deras ökade resursanvändning kommer att stå för en allt större andel av växthusgasutsläppen. Ett viktigt steg för att hjälpa u-länderna att kunna begränsa sin framtida konsumtion av fossila bränslen och ha en välfärdsökning är att de tekniskt utvecklade i-länderna bidrar med överföring av energieffektiv teknik.

#### *Vad händer om klimatet förändras?*

Fortsätter vi att använda fossila bränslen i samma takt som vi gjort kan vi förvänta oss drastiska förändringar av klimatet och det kommer att ske med ökande hastighet. De växthusgaser vi släpper ut idag kommer att påverka jordens klimat flera hundra år framåt i tiden. Om jordens länder tar ansvar för att minska utsläppen under 2000-talet kan temperaturhöjningen begränsas till ca 2°C under detta sekel enligt klimatforskarnas scenarier. Detta är tre gånger så snabb temperaturhöjning som under 1900-talet. I en värld med fortsatt kraftig befolkningstillväxt, stark ekonomisk tillväxt och fortsatt hög användning av våra fossila resurser skulle jordens genomsnittliga temperatur kunna öka uppemot 6°C, dvs. 10 gånger snabbare än under de senaste 100 åren. Det mänskliga agerandet framöver har alltså stor betydelse för hur kraftig klimatpåverkan kommer att bli.

Temperaturhöjningen blir olika för olika delar av jordklotet. Ökningen beräknas bli större över land än över hav. Den blir större mot polerna, särskilt vid Nordpolen, än vid ekvatorn och förväntas skapa en ökning av extrema väderförhållanden som stormbyar och kraftiga regnväder. Enligt dagens klimatmodeller kan Sverige få ca 50% kraftigare temperaturhöjning än genomsnittet för jorden. Uppvärmningen väntas bli allra störst vintertid, och öka mot norr. En ökning av den globala medeltemperaturen med 2,5°C förväntas ge en medeltemperaturhöjning i Sverige med nästan 4 grader och med ca 6°C vintertid i Haparandatrakten. Detta skulle betyda att temperaturen i Luleå blir ungefär som i Stockholm idag.

Konsekvenserna för människor på andra håll i världen förväntas bli avsevärt värre än i Sverige även om extrema väderförhållanden inte skulle bli värre. Länderna kring ekvatorn där en stor del av världens befolkning är bosatt och har sämst levnadsförhållanden är de som kommer att drabbas värst av den framtida klimatförändringen. Förutsättningarna för produktion av mat försämrats, vattenresurserna minskar där det redan idag är vattenbrist, intensivare värmeböljor, episoder med torka ökar i vissa delar samtidigt som översvämningarna blir värre i andra delar.

Klimatförändringarna kommer att ge skador på såväl biologiska och tekniska system som på människans hälsa. De allvarligaste konsekvenserna för jordens befolkning kan bli att det kommer att storma och regna oftare och intensivare än idag.

Den uppskattade ökningen av jordens medeltemperatur, 1,4-5,8°C på 100 år kommer att ge både negativa och positiva konsekvenser. En ökning av temperaturen förväntas ge ökad avkastning inom jord- och skogsbruket i Sverige. Ökningen av nederbörden kan ge ökad vattenkraftsproduktion. Men detta gäller i Sverige om temperaturökningen inte går för snabbt och stormaktiviteten inte ökar för mycket och insektsangreppen inte blir för kraftiga. De negativa effekterna bedöms bli de dominerande särskilt i de tätbefolkade fattiga delarna av världen som saknar resurser att genom anpassningsåtgärder begränsa konsekvenserna av en klimatförändring.

### *Vad krävs för att bromsa klimatförändringen?*

Klimatproblemet är ett komplext miljöproblem. För att kunna begränsa riskerna för framtida klimatförändringar kommer alla samhällssektorer att beröras och genomgripande omställningar i samhället samt på individnivå att krävas. Lösningarna kommer att påverka även de ekonomiska och sociala dimensionerna av hållbar utveckling. Hänsyn till effekter på växthuseffekten måste vägas in i alla handlingar och beslut hos alla samhällsgrupper och i alla politikområden för att få till ett målmedvetet åtgärdsarbete.

Det krävs ett gemensamt ansvarstagande över gränserna för att lösa en global fråga som växthuseffekten. Ett effektivt arbete för att nå klimatkonventionens mål förutsätter en internationell samordning. Minskade utsläpp berör i hög grad näringslivets konkurrensförhållanden, internationell handel, ekonomisk rättvisa mellan länder och mellan dagens och kommande generationer.

## **Klimatförändringar**

### *Prognoser och scenarier*

När klimatmodeller används för att beräkna framtida klimat, är det inte korrekt att jämföra resultaten med väderprognoser.

Dessa handlar om att så exakt som möjligt beskriva verkliga förlopp några dygn i förväg. Det kan gälla tidpunkten för när ett nederbördssystem anländer till ett område och hur mycket det regnar och blåser. Med en prognos avses alltså en förutsägelse om en kommande utveckling. Scenarier handlar om tänkbara utvecklingar, av vilka det kan finnas flera.

Klimatberäkningarna är projektioner in i framtiden av tänkbara utvecklingar av utsläpp, dvs. utsläppsscenarier.

Terminologin är inte bara hårklyveri utan innehåller verklig information. För att göra en klimatprognos behöver vi känna till alla faktorer som kan påverka framtidens klimat t ex vulkanutbrott och hur utsläppen av klimatpåverkande substanser kommer att bli. Sådan kunskap har vi inte. Det vi kan beräkna är hur stor effekten blir på klimatet om vi antar vissa utsläppsutvecklingar eller ändringar i andra enskilda faktorer som påverkar klimatet.

När klimatberäkningar utvecklas vidare till information som kan användas i effektstudier och för beslutsfattande, kan resultatet kallas klimatscenarier.

### *Energifaktorn*

Synsättet att antaganden om utsläpp inte ska uppfattas som scenarier finns också eftersom det är människan som aktivt orsakar utsläppen och därmed har kontroll över dem. Framtiden är dock oviss även i detta avseende. Den antropogena, människoskapade klimatpåverkan hänger ihop med behovet av energi. Bakomliggande faktorer är befolkningsutvecklingen och den ekonomiska tillväxten.

Hittills har gällt att ju fler och rikare vi blir, desto mer energi behövs. Om samhällets värderingar betonar miljön mer än de materiella aspekterna kanske energianvändningen ökar mindre framöver. Samarbete över gränserna kan komma att påverka hur effektivt resurserna används.

Hur energin tas fram beror i sin tur på teknologiutvecklingen som också kan bjuda på nya sätt att åtgärda en del av klimatproblemet.

### *Varför ett 100-års perspektiv?*

Ett tidsperspektiv på 100 år är vanligt i klimatberäkningar. Det finns ett gott skäl till det. Ett 100-års perspektiv betyder att den antropogena förändringen har vuxit sig så stor att den bättre kan urskiljas från naturliga variationer.

Detta är speciellt viktigt i regionala beskrivningar samt för scenarier av extremer.

Klimatscenarier handlar om extrapolering av befintlig kunskap. Förändras atmosfärens sammansättning påverkas klimatet. Om någon annan externt bestämd faktor ändras påverkas klimatet.

En ytterligare aspekt är klimatets naturliga variabilitet. Den kan skapas inom atmosfär-hav-land systemet eller tillsammans med förändringar i jordens omloppsbana, solen och kraftiga vulkanutbrott.

Framtida energiteknik ger hopp om minskade utsläppsscenarier, liksom prognoser, används inte enbart inom klimatforskningen.

Scenarier används som ett strategiskt planeringsverktyg och i beslutsfattande på många olika områden, från det militära till affärsvärlden. Scenarier hjälper till att planera för det oväntade och att hantera överraskningar. Scenarier på längre sikt kan vara aktuella även i beslutsfattande på kortare sikt eftersom handlingar liksom inaktivitet ofta har långsiktiga följder. Scenarier har dock ett litet, värde om inte nya kunskaper, tankar och strategialternativ kontinuerligt inarbetas i dem.

#### *Klimatförändringar och naturmiljön*

Människans påverkan på klimatet kan väntas få stora återverkningar på växter, djur och ekosystem över hela jorden. Redan 1900-talets ganska måttliga uppvärmning fick fullt märkbara följder för växt- och djurlivet. Under kommande decennier lär klimatförändringarnas biologiska effekter bli allt fler och allt mer markanta. För en del arter kan förändringarna bli positiva; för andra negativa. Några arter riskerar att bli utslagna för gott.

Både temperaturhöjningen och koldioxidhaltens ökning kan främja vegetationens tillväxt, men ökad sommartorka skulle motverka den effekten. Många växt- och djurarter kan få det svårt att hinna anpassa eller förflytta sig i takt med klimatförändringarna, och en del av dem riskerar därför att slås ut. Ekosystemen kommer gradvis att förändras, en del av dem kanske till oigenkännlighet. Till de hotade ekosystemen hör Skandinavien kalfjällsområden - som kan krympa mycket kraftigt genom att skogen expanderar mot allt högre höjd över havet - samt Östersjön, vars salthet kan sjunka om nederbörden ökar i Nordeuropa.

#### *Klimatförändringar i samhället*

Under de gångna årtusendena har människan tagit nästa hela jorden i besittning. Hon har lyckats anpassa sin livsföring och sitt näringsfång till de mest skilda klimatförhållanden, från kylan i Sibirien och vid Ishavskusten till hettan i subtropiska halvöknar och tropiska regnskogar. På ett eller annat sätt kan mänskligheten säkert också anpassa sig till ett framtida klimat där jordens medeltemperatur har stabiliserat sig några grader ovanför nuvarande nivå. Men själva förändringen kommer att vara förenad med stora problem och stora kostnader, kanske också stort lidande.

De närmaste decenniernas klimatförändringar kan medföra att jordbruksproduktionen stiger i tempererade områden men minskar i tropikerna. Skogsodlingen gynnas sannolikt på kort sikt även i varma länder, men på längre sikt kan både jord- och skogsbruk missgynnas inom allt större delar av världen. Stora förändringar är också att vänta för fiske och turistnäring. Energiåtgången för uppvärmning minskar, men det kanske uppvägs av ett ökat behov av luftkonditionering. Faran för översvämningar ökar längs många vattendrag och kuster, och vissa sjukdomar kan få större spridning. Sammantaget kan klimatförändringarna få både positiva och negativa följder för Sverige, men med största sannolikhet blir de övervägande till nackdel för världsbefolkningen i stort, vilket lär få negativa återverkningar även i vårt land.

### *Klimatförändringar i förindustriell tid*

Kontinentens vandringar över jordytan har i det förgångna utlöst långsamma men genomgripande klimatförändringar. De senaste tre årmiljonerna har mestadels präglats av kyla och nedisningar, men jorden har under den tiden genomgått upprepade och snabba växlingar mellan ett genuint istidsklimat och betydligt mildare förhållanden. Under de drygt tiotusen år som förflutit sedan den senaste istiden har klimatet dock varit relativt stabilt.

### *Klimatet hundra år framåt*

Människans framtida utsläpp av växthusgaser går knappast att förutsäga med nämndvärd tillförlitlighet. FN:s klimatpanel IPCC har i stället utarbetat scenarier för olika tänkbara samhälls- och utsläppsförändringar. Dessa har använts som utgångspunkt för modellräkningar av klimatets förändringar under de kommande hundra åren. Resultaten är osäkra eftersom klimatsystemet är så komplext, men modellerna har efterhand förbättrats. I flera grundläggande avseenden stämmer resultaten från olika modellräkningar väl överens med varandra.

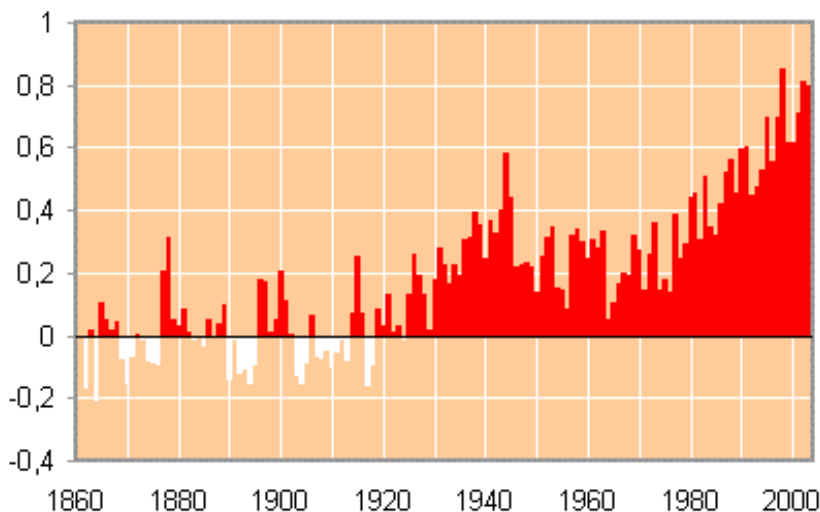
Trots all osäkerhet finns det på global nivå flera grundläggande överensstämmelser mellan olika beräkningar av det framtida klimatet. Enligt samtliga kombinationer av klimatmodeller och utsläppsscenarier som redovisas av IPCC kommer sålunda jordens medeltemperatur om hundra år att vara påtagligt högre än den nutida. I allmänhet förutsäger modellerna också likartade storskaliga förändringar av temperaturens och nederbördens geografiska mönster. Eftersom flertalet växthusgaser är mycket långlivade kan växthuseffekten fortsätta att förstärkas under hela tjugohundratalet även om utsläppen skulle börja minska.

### *Har klimatet redan förändrats?*

Ökad växthuseffekt bör betyda ökad temperatur på jorden. Enligt teoretiska beräkningar borde växthusgasernas hittillsvarande haltökningar ha höjt den globala årsmedeltemperaturen med drygt 0,5°C. En uppvärmning av den storleksordningen har också kunnat konstateras sedan början av 1900-talet. Flertalet glaciärer har krympt i storlek, och avsmältningen har medverkat till en höjning av havsytans nivå med åtminstone 10 cm.

### **GLOBAL ÅRSMEDELTEMPERATUR 1861–2003, HADLEY CENTRE, ENGLAND.**

**Grader C**



Under 1900-talet steg jordens medeltemperatur med ungefär 0,6°C. Allt talar för att detta huvudsakligen var ett resultat av utsläppen av koldioxid och andra växthusgaser.

Det senaste kvartsseklet har varit osedvanligt varmt. 1998, 2002 och 2003 är de tre allra varmaste år som har registrerats sedan tillförlitliga mätningar inleddes i mitten av 1800-talet.

Diagrammet visar för varje år sedan 1861 hur den globala medeltemperaturen har avvikit från genomsnittet för perioden 1861–1900.

Det förblev länge oklart om människans föroreningsutsläpp verkligen har bidragit till uppvärmningen eller om den bara är ett inslag i klimatets naturliga skiftningar. Dessa skiftningar är så stora att enstaka varma eller kalla år aldrig kan betraktas som bevis för eller emot människans inverkan på klimatet. Lika svårt är det att dra slutsatser av utvecklingen i en enskild region såsom Nordeuropa eller Sverige. I ett så litet område varierar medeltemperaturen mycket kraftigare från år till år än den globala genomsnittstemperaturen.

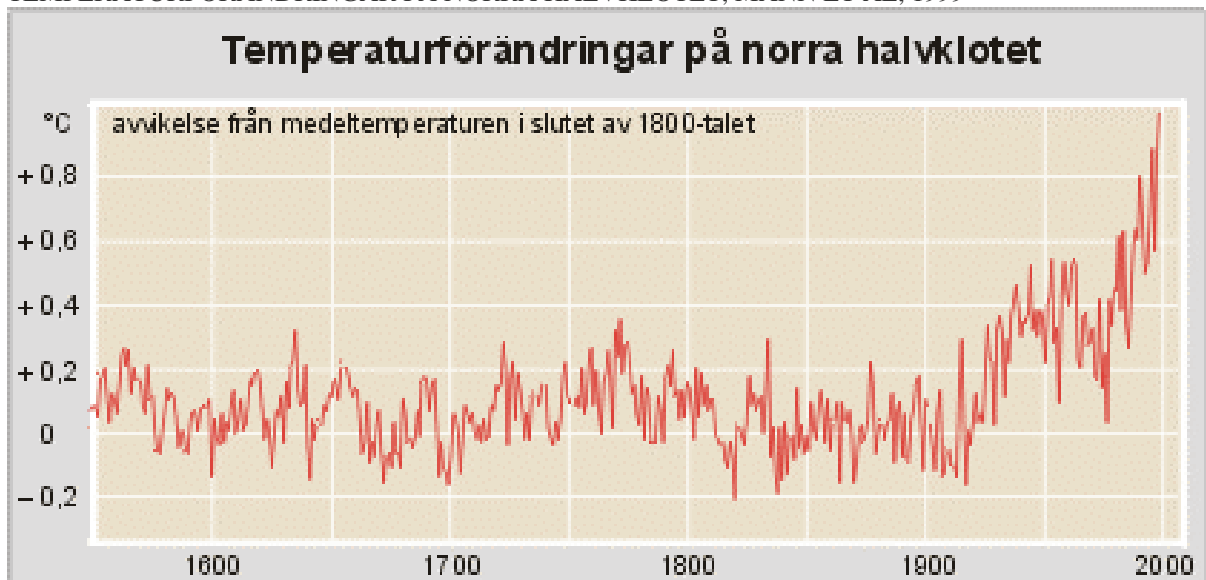
Flertalet år sedan slutet av 1980-talet har emellertid i stora delar av världen hört till de allra varmaste som registrerats sedan regelbundna väderobservationer inleddes. År 1995 ansåg sig IPCC (FNs internationella expertpanel för klimatfrågor) för första gången tämligen säkert kunna slå fast att människan faktiskt har börjat påverka jordens klimat.

#### *Kan uppvärmningen vara naturlig?*

Människans påverkan på jordens klimat ökade kraftigt under senare delen av 1900-talet, och den tilltar alltjämt. Åtskilliga debattörer och enstaka forskare hävdar likafullt att även dagens klimatförändringar i allt väsentligt orsakas av solen eller annan naturlig påverkan. Men det stora flertalet forskare är numera överens om att den markanta temperaturhöjning som inleddes på 1970-talet huvudsakligen beror på utsläppen av koldioxid och andra växthusgaser.

Medeltemperaturen på jorden ökade med nästan en halv grad under perioden 1910–1945. Under 1950- och 1960-talen kom uppvärmningen tillfälligt av sig, men sedan 1970-talet har temperaturen stigit ännu snabbare än den gjorde i seklets början.

TEMPERATURFÖRÄNDRINGAR PÅ NORRA HALVKLOTET, MANN ET AL, 1999

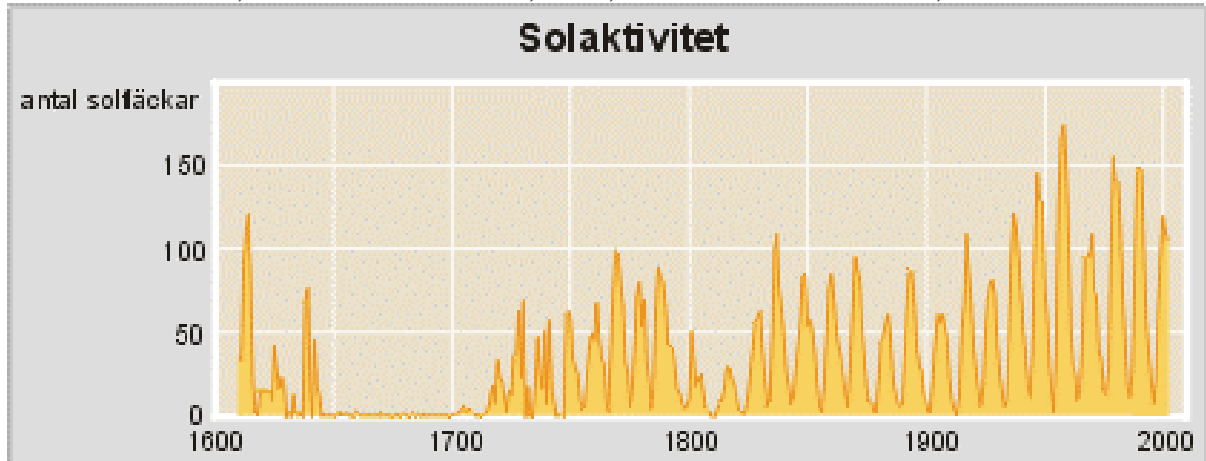


Under 1900-talet började medeltemperaturen på jorden plötsligt stiga efter att under tidigare sekler ha varierat ganska obetydligt.

I princip finns det flera olika slags påverkan, både naturlig och mänsklig som skulle kunna ge upphov till temperaturförändringar av det här slaget.

De energimängder som sänds ut från solen är inte alldeles konstanta. Under de drygt tjugo år som vi har kunnat mäta dem någorlunda exakt har de varierat mycket obetydligt – mindre än en promille, men det kan tänkas att variationerna har varit större sett i ett längre tidsperspektiv.

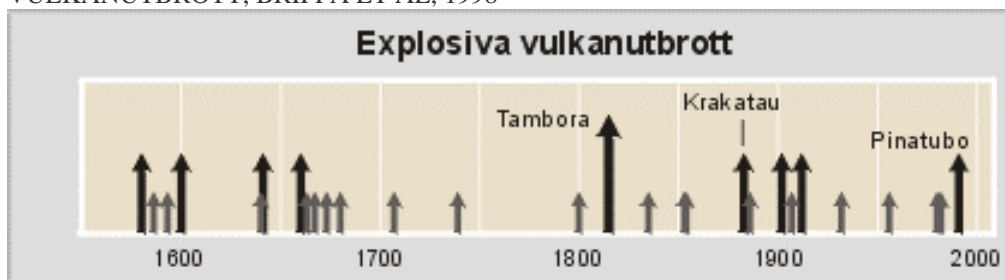
SOLAKTIVITET, HOYT & SHATTEN, 1998, SAMT WORLD DATA, BOULDER



Solaktiviteten varierar med en period på elva år, men den genomgår också mer långsiktiga förändringar. Energiutstrålningen från solen är beroende av solaktiviteten, dvs. av antalet fläckor och liknande fenomen på solytan. Solaktiviteten ökade markant under första hälften av 1900-talet, och det är fullt tänkbart att detta medverkade till den uppvärmning som ägde rum mellan åren 1910 och 1945. Men under senare decennier har solaktiviteten snarare avtagit igen. Variationer i solens energiutstrålning fungerar därför dåligt som förklaring till den snabba temperaturhöjning som har ägt rum på jorden sedan 1970-talet.

Kraftiga vulkanutbrott kan medföra att den övre atmosfären fylls med partiklar som hejdar en del av solljuset från att nå jordytan. Ett utbrott kan därför tillfälligt åstadkomma en temperatursänkning på jorden. En mycket kraftig eruption i Indonesien år 1815 medförde exempelvis en så kraftig avkyllning att 1816 fick benämningen "året utan sommar" i delar av Europa. Temperatureffekterna av ett enskilt utbrott är emellertid aldrig långvariga. De upphör inom ett par år genom att partiklarna efterhand sjunker till marken.

VULKANUTBROTT, BRIFFA ET AL, 1998

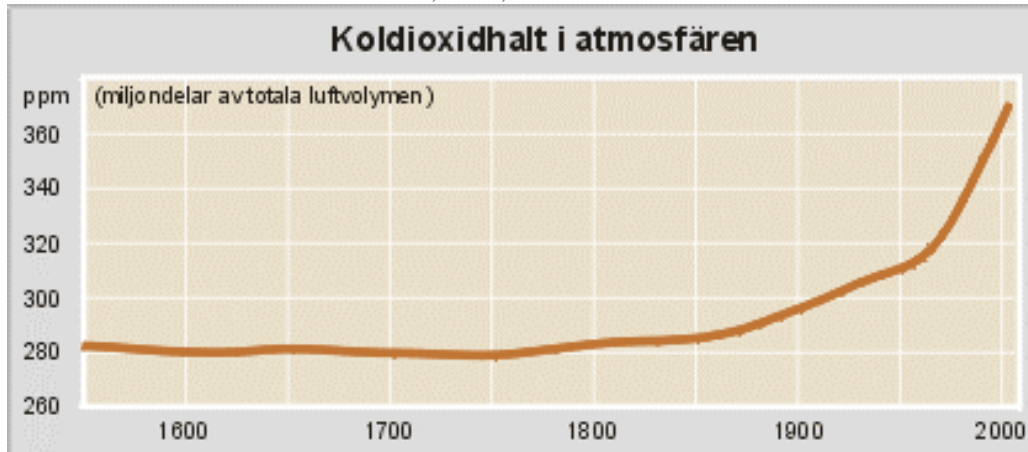


Ett explosivt vulkanutbrott kan medföra att den övre atmosfären under ett par års tid blir fylld med skymmande partiklar, med en märkbar avkyllning vid jordytan som följd.

Kring sekelskiftet 1900 inträffade flera stora vulkanutbrott. Att vulkanismen därefter avtog kan ha bidragit till den uppvärmningen under perioden 1910–1945. Mot slutet av 1900-talet ägde återigen flera stora eruptioner rum, däribland den filippinska vulkanen Pinatubos utbrott år 1991. Tillsammans medförde dessa eruptioner att vulkanismens avkylande verkan tilltog något under det gångna seklets sista decennier. Att temperaturen under denna tid i stället steg markant måste därför bero på något annat än vulkanutbrotten.

Det är förändringarna av jordatmosfärens sammansättning som stämmer bäst med temperaturens utveckling under senare decennier. Från och med senare hälften av 1900-talet har framför allt koldioxidhalten i luften stigit brant. Orsaken är i första hand koldioxidutsläppen i samband med våra dagars omfattande användning av fossila bränslen. Även andra växthusgaser, däribland metan och dikväveoxid, uppträder numera i ökande halter. Resultatet är en påtaglig förstärkning av atmosfärens växthuseffekt.

KOLDIOXIDHALT I ATMOSFÄREN, IPCC, 2001



Koldioxidens haltuppgång i atmosfären ökade takten på 1960-talet. Kort därefter började också temperaturen på jorden stiga markant – jämför med diagrammet överst på sidan.

Koldioxidens och de andra växthusgasernas nutida haltökningar stämmer överens i tiden med den snabba temperaturuppgången sedan 1970-talet. Detta är ett av flera indicier för att utsläppen av växthusgaser är huvudorsaken till de pågående förändringarna av jordens klimat. Även naturliga förändringar kan dock ha inverkat på den sentida klimatutvecklingen, och det är mycket möjligt att sådana förändringar fortfarande spelade huvudrollen under 1900-talets första hälft.

Den temperaturhöjning som ägde rum i 1900-talets början kan till stor del ha varit naturlig. Huvudorsaken till den snabba uppvärmningen efter 1975 kan däremot knappast vara något annat än människans numera mycket stora utsläpp av växthusgaser; främst koldioxid men även metan, dikvävedioxid m.fl. Atmosfärens innehåll av dessa gaser har tilltagit markant under senare decennier. Uppvärmningen kunde ha blivit ännu större om den inte hade motverkats av svavelutsläpp som ökat luftens partikelinnehåll. Dessutom har havet en fördröjande inverkan på temperaturförändringar som innebär att vi ännu inte har sett hela resultatet av växthuseffektens hittillsvarande förstärkning.

Att luftens koldioxidhalt stiger beror främst på utsläpp vid förbränning av kol, olja, bensin och andra fossila bränslen. I-länderna står för de i särklass största utsläppen per capita, men den snabbaste utsläppsökningen sker nu i u-länderna.

Även avskogning har medverkat till att höja koldioxidhalten. Genom att flertalet kvarvarande skogar nu tätat tar de dock för tillfället upp mer koldioxid från atmosfären än vad den ger ifrån sig. Också havet tar hand om mycket av den utsläppta koldioxiden, men resten blir kvar i luften i årtusenden. Utsläppen av andra växthusgaser härrör från många olika källor; förutom industri- och förbränningsprocesser även jordbruk, avfallsupplag m.m.

I IPCC: s andra utvärdering kunde man med rimlig grad av säkerhet slå fast att människan faktiskt har börjat förändra klimatet. År 2001, då den tredje utvärderingen publicerades, hade både fortsatt forskning och fortsatt uppvärmning medverkat till att befästa den slutsatsen ytterligare.

### *Bevis för en global uppvärmning*

Undersökningar av trädringar, iskärnor och korallrev visar att jordens yttemperatur är lika varm nu eller varmare än den varit under de senaste 600 åren. Temperaturen har ökat mellan 0,3-0,6°C under den senare delen av 1900-talet. Alla värmererekord sedan tillförlitliga mätningar började göras 1860 återfinns under 1990-talet. Att havsnivån under denna period ökat med mellan 10-25 centimeter indikerar också global uppvärmning.

Vad finns det då för vetenskapliga bevis för att människan är orsaken till den ökande koncentrationen koldioxid i atmosfären?

Man ser det på kolatomerna. Paret av kolatomer hos koldioxid som härstammar från olja, kol och gas skiljer sig från den som bildas vid naturliga förhållanden. Den naturligt bildade koldioxiden är nämligen lite radioaktiv. Kol, olja och gas bildades för flera miljoner år sedan djupt nere i jordskorpan inte har längre någon radioaktivitet. Sedan människan började använda fossila bränslen har andelen radioaktivt kol minskat i atmosfären.

Under senare delen av 1950-talet började vetenskapsmän på Hawaii att mäta halten koldioxid i atmosfären. Mätningarna spreds över hela världen och resultaten är entydiga. Halten av koldioxid i atmosfären ökar varje år.

Isen på Grönland och i Antarktis innehåller luftbubblor. Dessa innehåller instängd luft ibland så gammal som 200 000 år. I de övre lagren där isen är ung mäts värden av instängd koldioxid som stämmer överens med mätningar gjorda i atmosfären samtidigt. De äldre iskärnorna från djupt nere i islagret visar dock att koncentrationen koldioxid var ungefär 25 % lägre för tiotusen år sedan och förblev oförändrad fram till industrialismen.

Koldioxidens geografiska mönster uppvisar högre halter på norra halvklotet. Detta stämmer bra med att största utsläppen av koldioxid härstammar härifrån.

### *Vad händer med klimatet i fortsättningen?*

Enligt IPCCs senaste bedömningar kan vi vänta en fortsatt global temperaturstegring med 1,4–5,8° fram till år 2100. Det skulle därigenom kunna bli varmare på jorden än det har varit på flera miljoner år, dvs. under människosläktets hela existens. Även om luftens halter av växthusgaser om hundra år skulle ha stabiliserats lär uppvärmningen fortsätta ännu längre in i framtiden. I nordliga trakter lär uppvärmningen bli ännu kraftigare än genomsnittet för hela jorden. Den kan också väntas bli större på land än ute till havs. I Europa kan det bli Medelhavsländerna som råkar ut för den kraftigaste temperaturhöjningen, åtminstone sommartid. I Sverige lär uppvärmningen bli minst lika stor som det globala genomsnittet - om hundra år skulle det kunna vara lika varmt i Sydsverige som det nu är i Frankrike. Vinternederbörden väntas öka kraftigt i Nordeuropa, medan sommarnederbörden sannolikt minskar i nästan hela Europa, inklusive södra Sverige. Syd- och Mellaneuropa riskerar svår hetta och torka sommartid. Havet kommer att fortsätta stiga, sannolikt med några decimeter.

### *Varmare framtid*

När det gäller framtiden förutspås en ökning av den genomsnittliga temperaturen vid jordytan med 1,4-5,8°C perioden 1990-2100. Temperaturintervallet inkluderar alla de 40 utsläppsscenarier som IPCC numera använder och olika antaganden om klimatsystemets känslighet för påverkan. Att den nya prognosen pekar högre än tidigare i den andra rapporten 1995 angavs 1,0-3,5°C som troligt intervall – beror inte på att man nu förutspår mycket större utsläpp. Det är inte heller nya insikter om klimatsystemets funktion som ligger bakom. Den huvudsakliga förklaringen är att utsläppen av svaveldioxid globalt förväntas bli lägre, vilket innebär lägre halter av sulfatpartiklar i luften och därmed minskad avkylande effekt av dessa (partiklarna reflekterar inkommande solstrålning).

Den prognostiserade uppvärmningen är mycket större än de observerade förändringarna under 1900-talet och kommer med stor sannolikhet att sakna motsvarighet under de senaste tiotusen åren av klimathistoria, skriver IPCC.

Det är viktigt att notera att uppvärmningen inte förväntas bli jämnt spridd över klotet. Temperaturen väntas öka mer över land än över hav och störst blir ökningarna vintertid längst i norr. Mest anmärkningsvärd, skriver IPCC, är uppvärmningen i de norra delarna av Nordamerika och de nordöstra och centrala delarna av Asien. I dessa områden överskrids det globala medelvärdet med mer än 40 %.

#### *Golfströmmen avmattas*

En ofta ventilerad farhåga är vad som kommer att hända med de stora havsströmmar som transporterar värme från lägre breddgrader och ut mot polerna om det blir varmare. Enligt IPCC visar de flesta modeller på en avmattning av värmetransporten norrut, men ändå sker en nettouppvärmning av Europa, på grund av de högre halterna växthusgaser. Man förutspår ingen total avstängning av den s.k. termohalina cirkulationen bl.a. Golfströmmen före 2100 men varnar också: ”Bortom år 2100 kan den termohalina cirkulationen avstanna helt och hållet, och möjligtvis irreversibelt, på något av halvkloten om förstärkningen av växthuseffekten är tillräckligt stor och långvarig”.

Den höjning av havsytan som förutspås ligger i intervallet 9-88 cm mellan 1990 och 2100, vilket är något mindre än vad som tidigare modellerats. IPCC varnar dock för att havsytehöjningen kommer att fortsätta även lång tid efter det att klimatet har stabiliserats. Om temperaturökningen över Grönland blir 5,5°C och består under 1000 år kan det leda till att havsytan höjs hela 3 meter. Liknande skulle kunna gälla i västra Antarktis, men här är dataunderlaget osäkrare.

Den förbränning av fossila bränslen som skett i stor skala under drygt hundra år har lett till att atmosfärens halt av koldioxid ökat från omkring 290 miljondelar år 1850 till runt 370 miljondelar 1999, en ökning med 28 %. Vidare har en del helt nya växthusgaser, främst olika slags freoner, tillförts atmosfären. Förbränningen har också lett till ökade mängder stoft, där främst mycket små svavelföreningar har en viss avkylande effekt genom att solinstrålningen minskar.

Det är fortfarande omstritt huruvida ökningen av vissa växthusgaser klart kan skönjas i form av stigande temperaturer. Jordens genomsnittliga temperatur har dock, enligt något osäkra beräkningar, ökat med ca 0,7°C från mitten av 1800-talet till 1990-talet. Ökningen var störst dels 1920-40, dels från 1980 och framåt. Det är främst denna senare ökning som lett till att många forskare menar att det nu ganska säkert går att se människans påverkan på det globala klimatet. Vi har dock haft liknandetemperaturförändringar i gången tid så det kan vara för tidigt att vara helt säker.

Fortsätter utsläppen att öka i den takt man förväntar sig kommer koldioxidhalten att vara 500-600 miljondelar år 2050. Det råder nästan 100 % enighet om att jordens medeltemperatur kommer att öka på grund av detta. Det är dock betydligt mer osäkert vad som sker inom olika regioner och ännu mer osäkert vilket

#### *Vad kan förändra klimatet*

Utan tvekan kan klimatet förändras märkbart, och det av flera olika orsaker. Till dem hör naturliga företeelser såsom vulkanutbrott, skiftningar i solens ljusstyrka, variationer i jordens bana runt solen och jordaxelns riktning, förändringar av jordens egenskaper och interna svängningar i klimatsystemet. Det står också i mänsklig makt att inverka på klimatet: En del föroreningsutsläpp fyller luften med partiklar som kan fånga upp eller reflektera solljuset.

Vissa gasformiga föroreningar har förmågan att fånga upp värmestrålning och därigenom förstärka atmosfärens växthuseffekt.

Gaserna i jordatmosfären utgör inget större hinder för inkommande synligt ljus från solen. Luftens dominerande beståndsdelar, kvävgas och syrgas, hejdar inte heller den utgående värmestrålningen i nämnvärd utsträckning.

I små kvantiteter innehåller atmosfären emellertid också ett antal gasformiga ämnen som effektivt absorberar värmestrålning. Viktigast av dem är vattenånga och koldioxid  $\text{CO}_2$ , men även metan  $\text{CH}_4$ , dikväveoxid  $\text{N}_2\text{O}$ , även kallad lustgas och en rad andra gaser har en sådan förmåga. Tillsammans medför de att den lägre atmosfären är svärgenomtränglig för värmestrålning.

De värmeabsorberande gaserna fångar upp merparten av den värmestrålning som avges från jordytan. Den uppfångade strålningen blir omgående återutsänd, men inte bara i den ursprungliga riktningen utan åt alla tänkbara håll. Åtskilligt av värmen strålar sålunda tillbaka från atmosfären mot jordytan, som därigenom värms upp. Denna förhöjning av temperaturen på jorden har blivit känd under benämningen växthuseffekten. De gaser som orsakar uppvärmningen genom sin inverkan på värmestrålningen i atmosfären kallas växthusgaser. Denna kraftfulla växthuseffekt är till helt övervägande del naturlig, alla de ovan nämnda växthusgaserna har funnits i luften sedan jorden skapades. Växthusuppvärmningen av markytan innebär att värmeutstrålningen därifrån blir betydligt intensivare än den annars skulle ha varit.

Halterna av de naturliga växthusgaserna koldioxid, metan och dikvävedioxid har redan stigit påtagligt till följd av föroreningsutsläpp och förändrad markanvändning. Numera innehåller atmosfären dessutom ett stort antal nya, av människan tillverkade gaser med mycket stor förmåga att absorbera värmestrålning. Växthuseffekten är på väg att förstärkas.

#### *Ett oväder gör ingen klimatförändring*

En svår storm, en rekordhet sommar dag, en översvämning orsakad av intensiva regn - allt sådant uppfattas numera som tecken på att klimatet har blivit annorlunda. Men klimatet är en beskrivning av vädrets genomsnittliga egenskaper under en längre tid. En enskild väderhändelse, hur dramatisk den än är, duger därför aldrig som bevis för att klimatet har förändrats.

Det här beror på att väder och klimat inte är samma sak. Vädret är en beskrivning av temperatur, lufttryck, molnighet och andra egenskaper hos atmosfären i ett givet ögonblick. Klimatet å sin sida kan ses som en sammanfattning av hur vädret brukar vara beskaffat i ett visst område. En komplett redovisning av klimatet innefattar genomsnittsvärden för temperatur och andra väderdata, men den anger också hur mycket dessa väderdata i genomsnitt varierar under loppet av en dag, ett år eller ännu längre tid. Även extrema och ovanliga vädersituationer tillhör ingredienserna i klimatet på en given plats.

Därför måste vi samla väderdata under åtskilliga år, kanske flera decennier, för att få en så god uppfattning om genomsnittsvädret och vädervariationerna att vi kan avgöra om de har börjat avvika från vad som förekommit tidigare. Först om så skulle visa sig vara fallet kan vi sluta oss till att klimatet faktiskt håller på att förändras.

#### **Orealistiska scenarier för utsläpp av koldioxid.**

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change, publicerade år 2000, 40 olika scenarier för utsläpp av koldioxid. IPCC har försökt ta hänsyn till alla tänkbara sociala, teknologiska och ekonomiska förändringar som världen kan tänkas genomgå fram till år 2100. I inledningen till rapporten fastlägger man att den "helt säkert kommer att bli ett viktigt instrument för experter och beslutsfattare".

De 40 scenarier som presenteras kräver vissa mängder olja, naturgas och kol för att de skall vara möjliga att realisera och detaljerade kurvor finns för varje scenario.

Uppsala Hydrocarbon Depletion Study Group har samlat information om världens tillgångar på olja och naturgas. IPCC anser att man har med alla realistiska scenarier i sin rapport.

UHDSG har gjort en jämförelse mellan sina realistiska uppskattningar och de resurser som IPCC behöver. UHDSG har funnit att de mängder olja och naturgas som krävs inte finns globalt tillgängliga. Även de scenarier som kräver minst olja och naturgas hamnar över UHDSG beräkningar.

UHDSG har i detalj studerat de aktuella delarna av rapporten och funnit att IPCC aldrig gjort en kritisk granskning om de kolväten som man behöver för att genomföra sina scenarier finns tillgängliga fram till år 2100. "Hade man gjort en så enkel sak som att konsultera oljeindustrins egna experter skulle man mycket snabbt insett att man höll på att skapa ett luftslott utan stabilt fundament." enligt professor Kjell Aleklett.

Ett medelvärde av den mängd olja och gas som de olika scenarierna behöver fram till år 2100 motsvarar 8.000 gigafat oljeekvivalenter. Det scenario som kräver minst olja och gas behöver 5.000 gigafat medan det som kräver mest måste ha ofantliga 18.000 gigafat. UHDSG beräkningar ger att det fram till år 2100 kan produceras 3500 gigafat.

Faran med koldioxid är inte över. I framtiden kan vi komma att använda ännu mer kol, vilket ur koldioxidsynpunkt är att gå ur askan i elden. Det är helt uppenbart att det krävs nya realistiska beräkningar där tillgänglig energi behandlas på ett realistiskt sätt.

#### Har IPCC tagit i för mycket?

IPCCs scenarier ligger till grund för Kyotoprotokollet 1997, och spår att medeltemperaturen på jorden kommer att stiga med mellan 1,4-5,8°C som en följd av människans påverkan i tidsrummet 1990 - 2100. Scenarierna finns också i den tredje tillståndsrapporten från 2001. De mest optimistiska av de 40 scenarierna förutsätter att mänskligheten förbränner motsvarande 5 000 miljarder fat olja och gas. I den mest pessimistiska förutsägelsen förbränner vi 18 000 miljarder fat.

De svenska forskarna hävdar emellertid att det inte finns mer än 3 500 miljarder fat. UHDSG är överraskade att IPCC inte har kontrollerat hur mycket olja och gas som finns när de gjort sina scenarier.

#### JÄMFÖRELSE MED IPCC 40 SENARIER OCH VÄRLDENS PRODUKTION AV OLJA OCH GAS

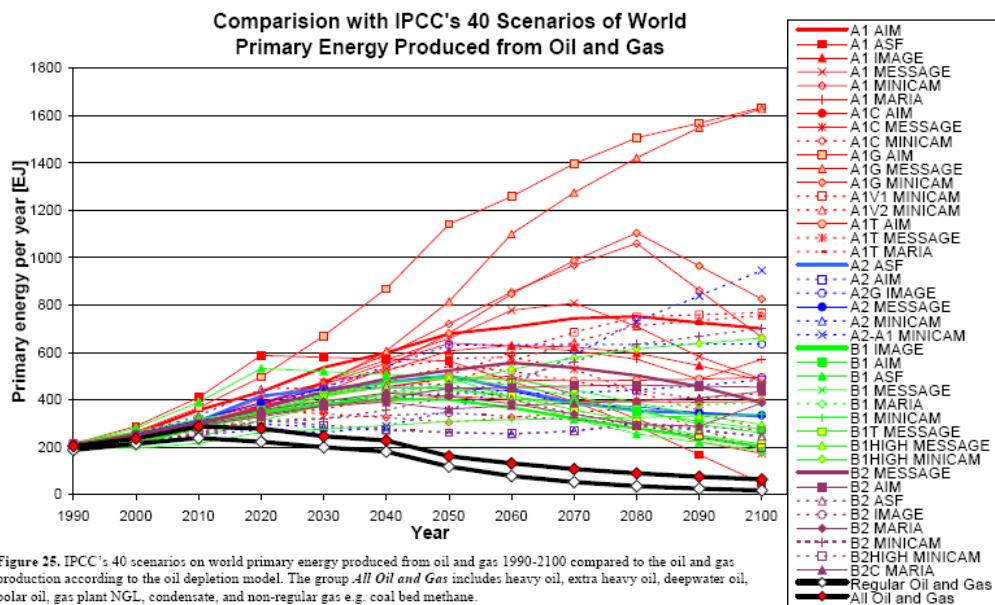


Figure 25. IPCC's 40 scenarios on world primary energy produced from oil and gas 1990-2100 compared to the oil and gas production according to the oil depletion model. The group *All Oil and Gas* includes heavy oil, extra heavy oil, deepwater oil, polar oil, gas plant NGL, condensate, and non-regular gas e.g. coal bed methane.

### Varierande beräkningar

Skillnaden mellan de mest optimistiska och mest pessimistiska scenariot beror delvis på osäkerheten om hur det globala klimatsystemet fungerar, men först och främst osäkerheten om hur stora utsläppen kommer att bli i framtiden.

Uppskattningarna för hur mycket olja och gas som finns varierar kraftigt, men de svenska forskarna hör till en stadigt växande grupp experter som tror att oljereserverna kommer att nå toppen så tidigt som 2010, och gas lite senare. Tidigare studier har spått att oljereserverna inte kommer att minska före 2050. UHDSG konstaterar att OPEC-länderna har rapporterat allt för stora reserver, troligen för att försäkra sig om större exportkvoter.

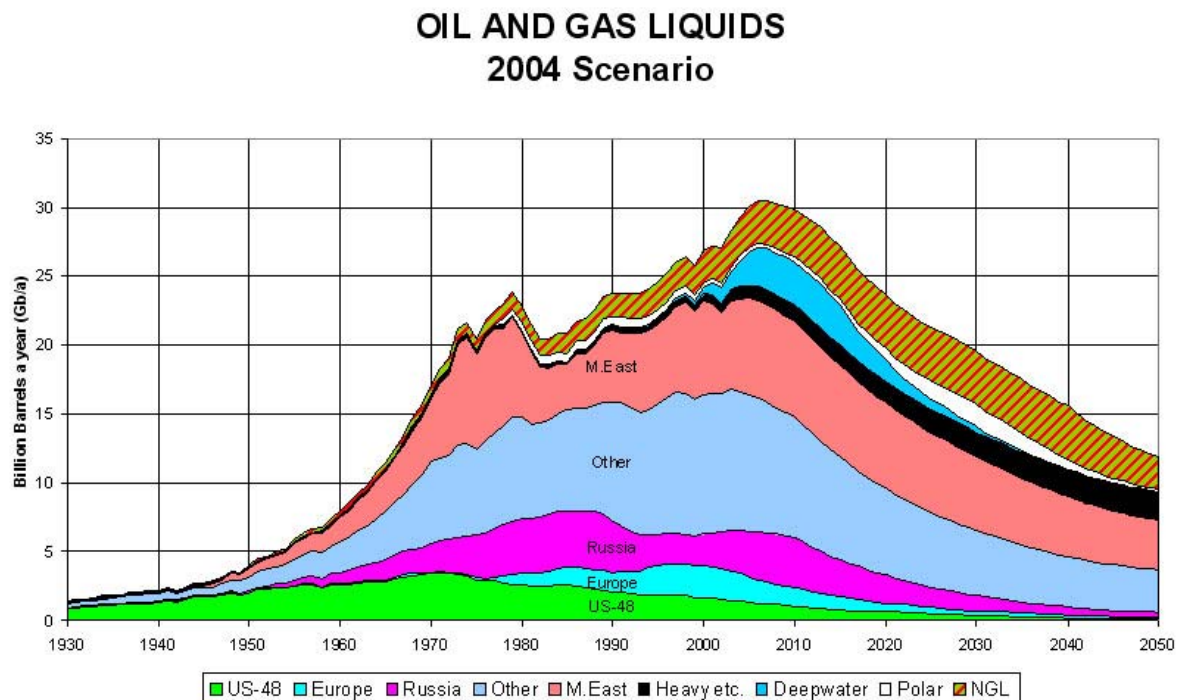
### Kol

Förbränning av kol skulle kunna göra att scenariorna från IPCC går i uppfyllelse, men en sådan utveckling vore katastrofal. Kol producerar mer CO<sub>2</sub> per energienhet än olja och gas. Vi bör bekymra oss för en ökning av koldioxidutsläppen och bekymra oss för en ökning av världens kolförbrukning. Vilket vore mycket värre ur miljösynpunkt.

### Energikris

Världen närmar sig en ny energikris och situationen kan bli dramatisk om vi inte gör något drastiskt. Det är överraskande att folk generellt inte är klara över minskningen av energi reserverna och hur mycket detta kommer att påverka produktionen. Nedgången i utvinningen av olja och gas kommer att påverka världen befolkning mer än klimatförändringarna.

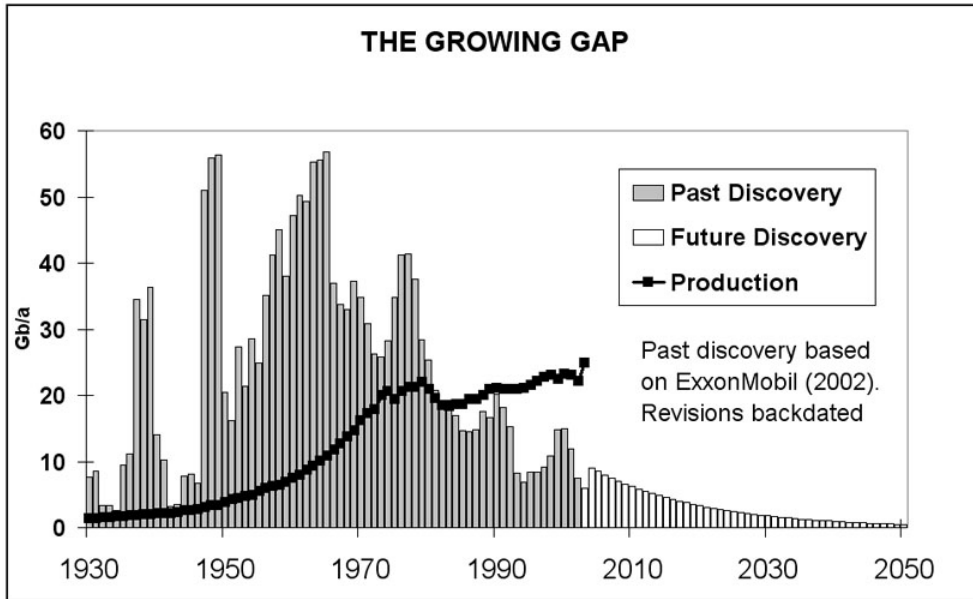
THE CAMPBELL-UPPSALA MODEL 2003



Work proceeds in updating the depletion model. It is less than an exact science to try to spot the anomalies in the data and to formulate realistic forecasts. It is an ongoing process, with the current status being reported. The present model departs from earlier ones in recognition that the Middle East no longer has sufficient spare capacity to discharge a swing role. A volatile epoch of recurring price shocks and consequential recessions

dampening demand and price is now regarded as more likely, with terminal decline setting in and becoming self-evident by about 2010. The flat-earth detractors will relish pointing out that the estimates change, but others may take it as progress.

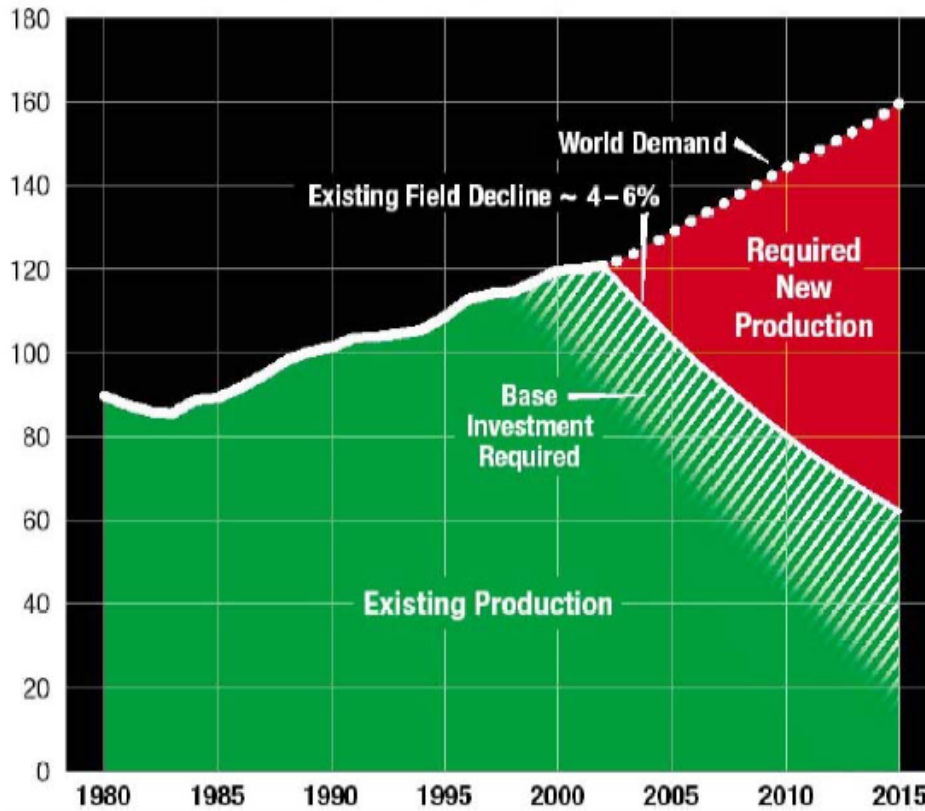
DEN VÄXANDE KLYFTAN



EXXON MOBIL

**Supplying Oil and Gas Demand Will Require Major Investment**

Millions of Barrels per Day of Oil Equivalent (MBOE)



The world needs new oil fieldsExxonMobil: In other words, by 2015, we will need to find, develop and produce a volume of new oil and gas that is equal to eight out of every 10 barrels being produced today.

## Vad kan vi göra?

Mycket talar för att uppvärmningen inte fortsätter bortom år 2100. Tillgångarna på fossila bränslen är inte så stora att vi på längre sikt skulle kunna åstadkomma en betydligt kraftigare klimatpåverkan än den som förutses under innevarande sekel.

Ingen kan på förhand veta säkert vad som händer med klimatet under de kommande hundra åren och där bortom. Full visshet om människans inverkan på det framtida klimatet får vi inte förrän framtiden är här och effekterna väl har infunnit sig. Röster har därför höjts om att vi bör vänta och se innan vi vidtar kostnadskrävande åtgärder mot utsläppen av växthusgaser, kanske blir utsläppens klimateffekter så obetydliga att insatser av det slaget inte alls behövs. Klimatets tröghet och växthusgasernas långa livslängd innebär att en sådan passivitet kan få vådliga följder. Om vi inte minskar utsläppen är risken stor att de i efterhand orsakar svåra klimatstörningar, kanske mot slutet av innevarande sekel eller ännu längre fram. Vid det laget kommer inga åtgärder att vara kraftfulla nog för att avvärja de uppkomna störningarna. Just på grund av att människans klimatpåverkan får så långvariga effekter är det angeläget att vi reducerar den snart. Detta kan i praktiken inte åstadkommas på annat sätt än genom minskad användning av fossila bränslen. Delvis kan vi få denna minskning till stånd genom investeringar i ny teknik, men i längden kräver den också förändringar av enskilda människors livsstil. Minskad klimatpåverkan förutsätter också internationell samverkan, och förhandlingar om utsläpps begränsningar har sedan 1992 bedrivits inom ramen för FN:s klimatkonvention.

Världens nationer måste enas om att begränsa förbrukningen av olja, gas och kol både med hänsyn till miljön, den ekonomiska stabiliteten och samhällsutvecklingen i både rika och fattiga länder.

### EU

EU tror på att vi kan ändra saker och ting och arbetar för att uppnå detta.

Tre fjärdedelar av växthusgasutsläppen produceras av en fjärdedel av världsbefolkningen, i USA, Europa och Japan. Därför är det den industrialiserade världens ansvar att minska utsläppen. Den stabila ekonomiska utvecklingen i länder som Kina och Indien kommer att producera ännu mer utsläpp, men det skulle vara orättvist att be dem att fördröja sin utveckling. Ansträngningen att minska den globala uppvärmningen måste delas lika och rättvist, i enlighet med varje lands behov och dess ansvar för problemet.

Den största svårigheten inom EU är att samordna vad individuella länder måste göra. Utsläppen av växthusgaser sjönk t.ex. med 2,5 % mellan 1990 och 1998. Detta berodde dock främst på att Storbritannien la ner en stor del av sin kolindustri och att Tyskland minskade sin tunga industri efter att de två delarna av landet återförenats. De flesta andra länder ökade sina utsläpp. Inte desto mindre tror EU att framsteg kan nås.

Olika växthusgaser kommer från olika källor:

### VÄXTHUSGAS KÄLLOR

Växthusgas	Dominerande utsläppskälla
CO <sub>2</sub>	Energiförbrukning, förbränning fossila bränslen och skogsavhuggning
CH <sub>4</sub>	Energiförbrukning, produktion, gödning, risfält, boskap och läckage avfallsupplag
N <sub>2</sub> O	Härstammar huvudsakligen från gödningsmedel och landsröjning
HFC SF <sub>6</sub> PFC	Läckage från kylskåp, tyngre elektrisk apparatur värmepumpar m m, föroreningar vid aluminiumframställning

### MÄNGDEN UTSLÄPPTA GASER INOM EU

CO <sub>2</sub>	78 %
CH <sub>4</sub>	11 %
N <sub>2</sub> O	9 %
HFC SF <sub>6</sub> PFC	1.6 %

I jämförelse med koldioxidhalten är halterna av alla andra växthusgaser mycket låga. Räknat per molekyl har dessa gaser å andra sidan långt kraftigare växthusverkan än koldioxiden,

vilket innebär att de likafullt ger ett märkbart bidrag till växthuseffekten och dess förstärkning. Liksom koldioxiden har några av fluorföreningarna dessutom så lång livslängd i atmosfären att de kommer att bidra till växthuseffekten många tusen år in i framtiden.

Dessa uppgifter kan användas för att hitta lösningar. Det står klart att energisektorn är den som bidrar mest till den globala uppvärmningen. Vi skulle därför kunna minska utsläppen genom att minska den mängd energi som konsumeras.

Detta kan uppnås på flera sätt. Ett sätt är att skatta energi så att det blir dyrare för människor och industrier att använda den. Om energipriserna går upp kommer naturligtvis kostnaderna för produktionen att öka och företagen kan förlora gentemot utländska konkurrenter som betalar mindre för sin energi, så skatterna får inte bli för höga.

En annan lösning är att hitta alternativa energikällor som producerar el och energi. Vissa metoder existerar redan, t.ex. vindkraft. EU uppmuntrar forskning inom dessa områden.

En lösning för att minska koldioxidutsläppen är att producera samma produkter med mindre energi, förbättra produktionsprocessens effektivitet. Man har uppnått vissa viktiga mål i den riktningen men medan energienhetsförbrukningen föll med 30 % mellan 1980 och 1989 steg dessvärre produktionen med 50 % under samma period och upphävde fördelarna med den ökade effektiviteten.

Vi kan även öka effektiviteten hos de ting som använder energi. T.ex. skulle bättre bilar förbruka mindre bensin. Problemet är att detta nog inte skulle vara tillräckligt. Bilar är i dag mycket mer utvecklade än de var för tio år sedan, men det har ändå inte uppstått någon tydlig minskning i utsläppen förorsakade av transporter. Detta beror på att fler människor använder bilar, så även det har upphävt fördelarna med bättre motorer.

Vi kan separera koldioxid vid förbränning och slutförvara den, samt separering av kväve från förbränningsluften.

När allt kommer omkring är nog en kombination av dessa lösningar det rätta svaret. Vi måste alla minska energiförbrukningen genom att vara försiktiga med hur vi använder den. Vi borde t.ex. åka med kommunala färdmedel när det är möjligt och inte ta bilen. Nuförtiden har de flesta kylskåp, tvättmaskiner och andra hushållsapparater etiketter som anger hur mycket energi de förbrukar. Det är upp till oss att välja de modeller som förbrukar minst. Forskningen fortsätter att utveckla nya energikällor och mer effektiva produktionsprocesser.

## **Miljöskatter och utsläppsrätter**

### *Miljöskatter*

De fossila bränslenas priskänslighet tyder på att införandet av miljöskatter skulle kunna vara en framgångsrik väg för att bekämpa växthuseffekten.

Hur mycket påverkas efterfrågan på fossila bränslen när priserna förändras? En relativt stor priskänslighet finns, vilket i sin tur tyder på att leveransstörningar, till exempel i form av en gaspris chock, skulle drabba den europeiska el-sektorn särskilt allvarligt.

De nationalekonomiska forskningsrönen antyder att miljöskatter skulle kunna vara effektiva för att påverka efterfrågan på olika bränslen med olika grad av koldioxidutsläpp. Därmed skulle politiskt uppsatta miljömål för att bekämpa växthuseffekten lättare uppnås.

Fossila bränslenas priskänslighet stöder införandet av miljöskatter.

Efterfrågan på fossila bränslen för elproduktion är även på kort sikt relativt priskänslig i Västeuropa.

### *Utsläppsrätter*

Från och med den 1 januari 2005 kommer ett system för handel med utsläppsrätter att införas inom EU, med utgångspunkt i ett direktiv "handelsdirektivet" som formellt antogs den 13 oktober 2003.

Handel med utsläppsrätter är ett led i EU:s arbete för att minska utsläppen av koldioxid och genomföra de åtaganden som gjordes i Kyoto. Handelssystemet är ett klimatpolitiskt instrument som syftar till att på ett kostnadseffektivt och samhällsekonomiskt effektivt sätt minska utsläppen av växthusgaser inom gemenskapen.

Det europeiska handelssystemet kommer att omfatta olika tidsperioder.

Under den första perioden åren 2005–2007 kommer endast utsläpp av koldioxid att ingå i handelssystemet. Vidare kommer under den första perioden handelssystemet att endast omfatta anläggningar inom energiintensiv industri (produktion och bearbetning av järnmetaller, mineralindustrin, pappersmassa, papper och papp) och förbränningsanläggningar över en viss effektnivå inom kraft- och värmeproduktion. I Sverige kommer cirka 500 värmeverk, skogsindustrier och andra energiintensiva anläggningar att omfattas. De fick sina utsläppsrätter för koldioxid av regeringen, den 31 mars 2004. I den fördelningsplan som regeringen fastställt redovisas hur många utsläppsrätter respektive anläggning beräknas få. Slutlig tilldelning görs av Naturvårdsverket. Företagen har sedan möjlighet att köpa eller sälja utsläppsrätter mellan varandra inom hela EU. Under försöksperioden sätts ett tak för tilldelning av utsläppsrätter på sammanlagt 22,9 miljoner ton koldioxidutsläpp per år. Industrin får enligt planen utsläppsrätter i förhållande till genomsnittligt utsläpp under perioden 1998-2001. Energisektorn som förväntas ha mindre svårigheter att sänka sina utsläpp får en tilldelning motsvarande 80 procent under samma period. I planen finns marginaler för produktionsökningar och för nya anläggningar som kommer till efter den 31 mars 2004. Vi har alla ett gemensamt ansvar att komma tillrätta med klimatproblemen. Detta förslag till fördelningsplan värnar om industrins konkurrenskraft samtidigt som det är ett viktigt steg på vägen för att bekämpa klimatförändringarna.

### **Koldioxid kan slutlagras**

Fossila bränslen är globalt sett hörnpelarna när det gäller energikällor. Till kommersiellt tillgängliga energiformer räknas också kärnkraft och vattenkraft.

I Sverige svarar de för närmare hälften av energitillförseln men globalt sett endast ca 10 %.

Ökningstakten för kärnkraft och vattenkraft har under många år varit mycket måttlig.

Biobränslen kan ha betydelse lokalt samt i vissa regioner.

Att öka användningen av förnybara energislag är en utpekad strategi inom EU. Detta, inklusive effektivare användning av el och värme, kan emellertid inte mer än marginellt minska behovet av fossila bränslen.

Därför krävs att system för avskiljning och omhändertagande av koldioxid utvecklas.

International Energy Agency, IEA, har ett programarbete kring hur växthusgaser från energirelaterade verksamheter kan tas omhand och deponeras.

Utsläpp av växthusgasen koldioxid kan vara vårt största miljöhot. Men det finns en relativt billig lösning: lagring under jorden.

Länge har det ansetts meningslöst att minska koldioxidutsläppen genom rening eftersom man ändå inte har haft någonstans att göra av koldioxiden. Nu finns emellertid goda skäl att omvärdera detta. Utvecklingen av teknik för att utvinna olja och gas på stora djup har ökat tillgången på fossila bränslen men paradoxalt nog också öppnat en möjlighet för att göra sig av med koldioxid.

Några demonstrationsanläggningar för avskiljning av koldioxid har kommit till stånd.

Det är norska Statoil som visat att koldioxidlagring är möjligt i stor skala. Vid en av Statoils stora gasriggar vid Sleipnerfältet utanför Sydnorge har koldioxid sedan 1996 lagrats. Innan naturgasen säljs till konsumenterna minskas innehållet av koldioxid med hjälp av absorptionskolonner.

Naturgasen vid Sleipnerfältet innehåller ovanligt mycket koldioxid. Eftersom Norge har en skatt på koldioxid blev det kommersiellt möjligt att satsa på tekniken. Ekonomiskt går det ungefär på ett ut, men miljömässigt slipper man att koldioxiden släpps ut i atmosfären.

I en naturligt bildad saltvattenförande sandformation över naturgaskällan injekteras över 1 miljon ton av den avskiljda koldioxid per år. Hittills har mer än 8 miljoner ton deponerats på detta sätt utan läckage till omgivningen. På det djupet gör trycket koldioxiden flytande. Tätare

bergslager ovanför hindrar koldioxiden från att läcka ut. I princip sprutar man ner koldioxiden i samma slags sandstensformationer som man utvinner naturgasen ur. Utsira-akvifären (vatenbärande formatin) i Nordsjön, som är 200-300 meter hög och har en yta av 26 000 kvadratkilometer, enligt Statoils beräkningar handlar det om motsvarande Europas samlade koldioxid utsläpp för 700 år.

Inom Europa har man konstaterat att tillgången på tänkbara akvifärer för deponering av koldioxid är mycket stor. En annan potentiellt intressant akvifär sträcker sig från norra Tyskland med förgreningar under Skandinavien.

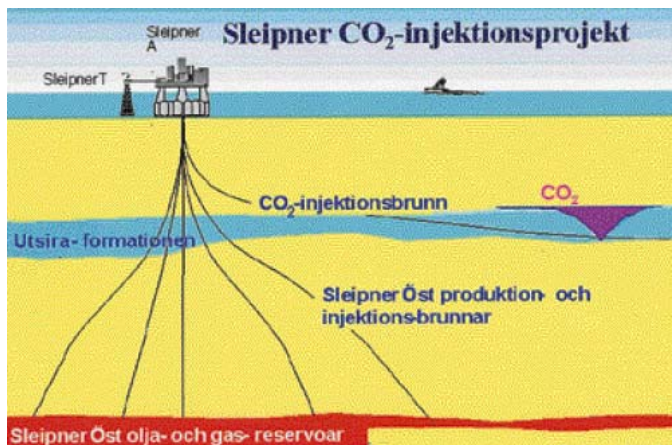
Kostnaden för att avskilja och deponera koldioxid i underjordiska akvifärer är sannolikt lägre än den nuvarande svenska koldioxidbeskattningen och lägre än att storskaligt införa en elproduktion baserad på biobränslen och vind. Dessa nya möjligheter ger förhoppningar om att utsläppen av koldioxid kan minskas långt innan framtida energisystem, baserade på olika former av solenergi, får kommersiella genomslag.

Projektet har väckt förhoppningar att tekniken kan vara en lösning på världens koldioxidproblem. Optimisterna menar att hela världens samlade utsläpp för hundratals år ryms i underjorden. Inventeringar visar att liknande sandstensformationer finns på en mängd platser, bl.a. i södra Östersjön. Det finns litet olika siffror beroende på om man är optimistisk eller pessimistisk. Optimisterna hävdar att hela världens samlade utsläpp för flera hundra år kan lagras på det här sättet. Pessimisterna menar att det är alldeles för tidigt att säga och att man vet för litet om ifall koldioxiden kan läcka ut.

Statoil har studerat hur koldioxiden under Sleipnerfältet hittills beter sig med ekolod och mätapparatur på havsbotten. Koldioxiden sprider sig långsamt i sandstenen men hindras enligt forskarna av berget ovanför från att läcka ut. Den stanna kvar åtminstone tusen år. Det finns inga tecken på att den kan läcka ut. Enligt de simuleringar framåt i tiden som gjorts så kommer den långsamt att lösas upp i vattnet nere i sandstenen och sedan långsamt att sjunka. Nu efter Sleipnerprojektet vill Statoil utvidga verksamheten. 2006 ska man börja lagra koldioxid vid Snövitfältet utanför Nordnorge. I år ska den största lagringen hittills, 1,2 miljoner ton per år, inledas i Marocko i samarbete med BP. Intresset för koldioxidlagring växer inom branschen. Fler och fler, både forskare och företag visar intresse för tekniken. Koldioxid kan också förvaras i djuphavet. På djup under 500 meter är trycket så högt att denna gas är flytande. Koldioxiden är visserligen något lättare än havsvattnet, men om den blandas med havsvattnet på lämpligt sätt blir densiteten högre, vilket gör det möjligt att lagra koldioxid i havet. Ett ännu bättre alternativ kan vara att lagra den under 3 000 meters djup där även ren koldioxid är tyngre än vattnet och alltså lägger sig på botten. För denna typ av lagring finns det också gott om plats.

Att använda oljefält och gasfält, liksom djupt liggande kollager, är ytterligare tänkbara platser för att lagra koldioxid. Alla dessa olika lagringsplatser är relativt billiga. Kostnaderna beräknas till några tiotal kronor per ton koldioxid, dvs. en bråkdel av den svenska koldioxidskatten per ton koldioxid. Lagring i oljefält kan göras i samband med sk utökad oljeutvinning, vilket innebär att man ökar produktionen av olja från ett fält genom att injicera koldioxid i tomrummet efter tidigare uppumpad olja. Lagringen blir i detta fall till och med lönsam tack vare intäkterna från den ökade oljeproduktionen.

SLEIPNERFÄLTET



### Teknik för avkiljning av koldioxid och kväve

Det kostar både pengar och energi att avskilja koldioxid från de rökgaser som bildas vid förbränning. Här talar vi om en minskning av verkningsgraden hos kraftverk med 30-40 % för ett kolkraftverk, och från ca 50-60 % för ett gaseldat kraftverk. Kostnaden ligger i storleksordningen 500 Kr per ton koldioxid, och kostnaden för att producera el skulle kanske öka med 50-100 procent, eller med omkring 10-15 öre per kilowattimme. Ändå talar vi om kostnader som är jämförbara med kostnaderna för el från vindkraft och är betydligt lägre än från el från solenergi. Det är dyrt att ta bort koldioxid, men det är inte orimligt dyrt om det visar sig nödvändigt att kraftigt begränsa utsläppen av växthusgaser.

För att få en rimlig ekonomi på hantering och transport av koldioxid bör avskiljningen ske i stor skala, och då finns det två möjligheter; att koldioxiden avskiljs innan bränslet används eller samtidigt som den används.

I det första fallet omvandlas det fosila bränslet till koldioxid och vätgas, koldioxiden avskiljs och i stället distribueras vätgas som bränsle. Vätgas har den stora fördelen att dess förbränning är mycket miljövänlig. Det blir i princip bara vattenånga som avgas. Tekniken för att producera vätgas är dessutom väl känd. Detta görs i stor skala i samband med exempelvis framställning av konstgödsel. Vätgasen är betydligt dyrare än kommersiella bränslen. Det krävs dessutom uppbyggnad av distributionsnät för vätgas, liksom att t ex bilmotorer anpassas för detta bränsle.

I det andra fallet används det fosila bränslet för att producera el i ett kraftverk med koldioxidrening. Potentialen hos koldioxidrening är stor. En tredjedel av koldioxidutsläppen kommer från kraftverk.

Förbränning innebär att syre i luft reagerar med ett bränsle, dvs. som är uppbyggt av grundämnen kol och väte, till koldioxid och vattenånga. Vattenången är lätt att skilja av från koldioxiden eftersom den bildar en vätska om rökgasen kyls till omgivningens temperatur.

Det stora problemet är att luft till fyra femtedelar består av kväve. Vid normal förbränning är det ofrånkomligt att kvävet blandar sig med förbränningsprodukterna koldioxid och vatten.

Det är inte alls lika enkelt att skilja koldioxiden och kvävet som för att avskilja vattnet. Det finns förslag på ett stort antal processer där fosila bränslen som kol och naturgas omvandlas till nyttig energi samtidigt som koldioxid avskiljs. Dessa kan indelas i fyra grupper:

Efterrensning, här avskiljs koldioxiden från rökgasen efter förbränningen.

Förrening, här avskiljs kvävet från förbränningsluften innan förbränningen. Dessa processer kallas O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>-förbränning.

Koldioxidskift är en rening som ligger mitt i förbränningen. Här sker förbränningen i steg. Först omvandlas koldioxid och vätgas i två steg, där det andra steget är en skiftreaktion, och sedan avskiljs koldioxiden innan vätgasen bränns.

Utan kontakt, här sker förbränningen utan kontakt med det ursprungliga bränslet och koldioxiden kan avskiljas utan egentlig rening. Bränsleceller är ett exempel. Den enda teknik som kan sägas vara etablerad innebär att koldioxiden avskiljs från rökgasen efter förbränningen. Metoden används i kraftverk i början av 1980-talet för att producera koldioxid som pumpades tillbaka till oljefälten för att öka utvinningen. Tekniken utnyttjas även i dag i enstaka kraftverk för att producera koldioxid för livsmedelsindustrin. Avskiljningen åstadkoms genom att man låter rökgasen komma i kontakt med ett absorptionsmedel, monoetanolamin, som binder koldioxiden. Absorptionsmedlet avger sedan koldioxiden genom att den värms i en annan reaktor. Problemet är då att det går en del energi, vilket minskar verkningsgraden, samt att den här typen av reningsanläggningar kostar mycket. Forskning och utveckling pågår bl a för att hitta effektivare absorptionsmedel. Reningen kan också göras före förbränningen,  $O_2/CO_2$ -förbränning, innebär att man avskiljer koldioxid från en förbränningsprocess. Metoden går ut på att avskilja kvävet från förbränningsluften i en luftsepareringsanläggning och elda med syrgas och återcirkulerad rökgas. Därmed blir rökgasmängden mindre än från ett vanligt kraftverk och kostnaderna för att trycksätta, transportera och deponera dessa acceptabla. För att temperaturen vid förbränningen ska hållas nere återcirkuleras en del av rökgaserna. Verkningsgraden i ett  $O_2/CO_2$ -eldat kraftverk blir lägre än i ett konventionellt då en stor del av den energi som produceras används internt till luft separation och komprimering av rökgaserna. Koldioxidskift är ett tredje alternativ. Metoden innebär att man först omvandlar bränslet genom att tillsätta luft, rent syre eller vatten. Då fås en gas som innehåller vattenånga, koldioxid, vätgas och koloxid. Skiftesreaktionen omvandlar vattenånga och koloxid till vätgas och koldioxid. Därefter avskiljs koldioxiden och vätgasen kan förbrännas. Fördelen med detta tillvägagångssätt är koldioxiden har en mycket högre koncentration än vid reningsteget. Reningen blir därmed enklare och billigare, men själva förbränningsprocessen blir mer komplicerad. Ett fjärde alternativ är och ett helt annat sätt att närma sig problemet är förbränningsprocesser där förbränningsluften inte är i direktkontakt med bränslet. På detta sätt blandas aldrig koldioxiden med kvävet och man slipper göra en rening. För att detta ska fungera måste man på något sätt flytta syret från förbränningsluften till bränslet. Två exempel på sådana processer är bränsleceller och tvåstegsförbränning. I bränsleceller är bränslet och luften separerade av ett elektrolytiskt membran genom vilket syret transporteras. Elektrolyten omges av två ytor: katoden där syret tas upp och anoden där syret reagerar med bränslet under bildning av koldioxid och vatten. Reaktionerna ger upphov till en spänning mellan katoden och anoden. På detta sätt produceras elektrisk energi direkt utan att man går den vanliga omvägen genom värme. Eftersom membranet inte släpper igenom kväve kan man få koldioxiden för sig själv och slipper separationsprocesser. Kostnaden per kilowattimme för el från bränsleceller har uppskattats vara ungefär dubbelt så hög som i ett modernt naturgasbaserat kraftverk, men verkningsgraden kan bli mycket för denna typ av kraftverk, uppemot 70 procent. I tvåstegsförbränning används metalloxidpartiklar för att flytta syret mellan två reaktorer: den ena en luftreaktor där syret tas upp av partiklarna, den andra en bränsle reaktor där syret avges till bränslet. Reaktorerna utförs lämpligen i form av två hopkopplade bubblande partikelbäddar som har utformats så att man får ett utbyte av partiklar mellan de två reaktorerna. Partikelflödet mellan reaktorerna tjänar som syretransportörer. Gasen som lämnar bränslereaktorn består av koldioxid och vattenånga. Vattenångan avskiljs genom kondensering och får därmed en förbränningsprocess där koldioxid fås i ett separat flöde utan någon energikrävande rening. Denna förbränningsprocess kan ersätta vanlig förbränning. Kraftverk med den här förbränningstekniken bör kunna få samma verkningsgrad som kraftverk med vanlig förbränning utan rening.

Processen befinner sig i ett utvecklingsskede och har endast testats i laboratorieskala. Det finns ännu inga tillförlitliga uppskattningar om kostnaden för dessa kraftverk. Tekniken har stora likheter med trycksatt bubblande partikelförbränning av kol och kostnaden bör bli den samma.

I Sverige bedrivs forskning på processen vid Chalmers tekniska högskola i Göteborg, med inriktning på utveckling av partiklar och utformning av reaktorsystemet och Kungliga tekniska högskolan i Stockholm där kraftprocessen studeras.

I nuläget är koldioxid rening ganska ointressant eftersom de krav som ställs på minskning av utsläppen i Kyoto-protokollet är måttliga och många åtgärder finns som är billigare. Om mer kraftfulla åtgärder krävs kan kostnaderna för att minska koldioxidutsläppen öka snabbt. Koldioxid rening kan bli en mycket viktig faktor för att utsläppen av växthusgaser ska kunna begränsas till rimliga kostnader. Sannolikheten ökar därmed för att det ska gå att nå globala överenskommelser om begränsning av växthusgaser.

#### *Svenska Vattenfall och koldioxidavskiljning*

I Tyskland vill Vattenfall satsa på koldioxidavskiljning. Vattenfall äger en lång rad kolkraftverk i Tyskland och Polen. Kolkraftverk som visserligen moderniserats men som släpper ut mängder av koldioxid. Om ett år kommer utsläppen börja kosta pengar. Då träder nämligen EU:s direktiv om utsläppsrätter i kraft. Det är i grund och botten hotet om att koldioxidutsläpp kommer att kosta pengar som gjort att den här forskningen blivit intressant för branschen. Enligt Vattenfalls uppskattningar kommer priset på utsläppsrätter göra att kommersiella kraftverk, där koldioxiden avskiljs för att lagras, blir konkurrenskraftiga någon gång 2015. Det är ungefär då som Vattenfall tror att de utvecklat sådana kraftverk.

#### **Slutsatser**

Världen står inför en gigantisk utmaning när det gäller investeringar i energi. fram till år 2030. Investeringarna är ojämnt fördelade. El-sektorn förväntas dominera världens investeringar, dvs. 60 % av den totala investeringen. Den globala efterfrågan på el fördubblas fram till 2030. Biobränslen är idag det viktigaste alternativet till fossila bränslen. Ett problem är bristen på mark. År 2050, med tio miljarder människor på jorden är den tillgängliga landytan per person mindre än 1 hektar.

Tack vare växthuseffekten som vi kan leva här på jorden. Utan den skulle medeltemperaturen vara -18 °C istället för som nu, +15 °C.

Klimatförändringar är ett komplext miljöproblem. För att kunna begränsa riskerna för framtida klimatförändringar kommer alla samhällssektorer att beröras och genomgripande omställningar i samhället samt på individnivå att krävas. Lösningarna kommer att påverka även de ekonomiska och sociala dimensionerna av hållbar utveckling. Hänsyn till effekter på växthuseffekten måste vägas in i alla handlingar och beslut hos alla samhällsgrupper och i alla politikområden för att få till ett målmedvetet åtgärdsarbete.

Tillgångarna på fossila bränslen är inte så stora att vi på längre sikt skulle kunna åstadkomma den klimatpåverkan genom växthuseffekten som förutses av IPCC.

De fossila bränslenas priskänslighet tyder på att införandet av handel med utsläppsrätter och miljöskatter skulle kunna vara en framgångsrik väg för att bekämpa växthuseffekten.

Koldioxid kan slutlagras. Det görs sedan 1996 i Nordsjön. Teknik för avskiljning av koldioxid och kväve finns framtagen i dag. Priset på utsläppsrätter kommer att göra kommersiella kraftverk där koldioxiden avskiljs för att lagras konkurrenskraftiga. Växthuseffekten minskar.

#### **Källföteckning**

Föreläsning av Kjell Aleklett den 14 februari, 13 mars och den 8 maj 2004

The Association for the Study of Peak Oil&Gas: <http://www.peakoil.net>

CO<sub>2</sub> Capture homepage: <http://www.entek.chalmers.se/~anly/co2/co2.htm>  
The contribution of Nuclear Energy to limit Potential Global Climate Change Uranium Institute , Foratom m. fl.  
Elforsk rapport 03:14: El från nya anläggningar 2003  
Elforsk Ett uthålligt elsystem för Sverige - vision 2050  
En studie av världens oljeresurser med en jämförelse mot IPCCs utsläppsscenarier Anders Sivertsson, Institutionen för Strålningsvetenskap Uppsala universitet:  
<http://www.isv.uu.se/UHDSG/OilIPCC/Thesis.pdf>  
Energimyndigheten: <http://www.stem.se>  
ExternE. Externalities of energy . EUR 16520 EN 1995  
Externalities of energy ExtremeE: <http://externe.jrc.es>  
Europaparlamentets och rådets direktiv 2003/87/EG av den 13 oktober 2003 om ett system för handel med utsläppsrätter för växthusgaser inom gemenskapen och om ändring av rådets direktiv 96/61/EG. (EGT L 275, 25.10.2003)  
Faktarapport inom IVA-projektet: Energiframsyn Sverige i Europa: EL och kraftvärme från kol, naturgas och biobränsle  
Finenergy: <http://www.energia.fi>  
Foratom: <http://www.foratom.org>  
IAEA: <http://www.iaea.org>  
International Energy Agency: <http://www.iea.org>  
The Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC: <http://www.ipcc.ch>  
Greenpeace: <http://www.greenpeace.org>  
Naturvårdsverket: <http://www.naturvardsverket.se>  
New Scientist: <http://www.newscientist.com>  
Nuclear Power, M. Scott and D. Johnson, The Open University  
The oil we eat: following the food chain back to Iraq ,Harper's Magazine, Feb, 2004, Richard Manning:  
Reaktorsäkerhetsutredningen, SOU 2003:100.  
Renewable Energy, Power for a Sustainable Future, G. Boyle, Oxford University  
Requiem for Kyoto: An economic analysis of the Kyoto protocol. Nordhaus, Boyer. The Energy Journal , June 1999.  
Ringhals: <http://www.ringhals.se>  
Statoil: <http://www.statoil.com>  
Svensk Energi: <http://www.svenskenergi.se>  
Svensk Energi broschyr Energikällor  
Svensk Energi broschyr Kärnkraft  
Sveriges tredje nationalrapport om klimatförändringar ,i enlighet med Förenta Nationernas ramkonvention om klimatförändringar, Miljödepartementet Ds 2001:71  
Sustainable development, Nuclear Power IAEA  
Sydkraft: <http://www.sydkraft.se>  
Tidningarnas Telegrambyrå TT: <http://www.tt.se>  
Uppsala Hydrocarbon Depletion Study Group: <http://www.isv.uu.se/uhdsg/>  
Uranium Institute: <http://www.world-nuclear.org>  
Vattenfall: [Vattenfall.se](http://Vattenfall.se)  
Vattenfalls Life Cycle Studies of Electricity Generation. 1996  
World Energy Outlook:[www.worldenergyoutlook.org](http://www.worldenergyoutlook.org)