

The background of the entire page is a photograph of high-voltage power lines. The lines are supported by wooden poles and feature large, green, disc-shaped ceramic insulators. The sky is a clear, bright blue. The perspective is from a low angle, looking up at the power lines.

# Vägval för framtidens teknikutveckling

**Vägval energi**

KUNGL. INGENJÖRSVETENSKAPSAKADEMIEN (IVA)  
är en fristående akademi med uppgift att främja tekniska  
och ekonomiska vetenskaper samt näringslivets utveckling.  
I samarbete med näringsliv och högskola initierar och föreslår  
IVA åtgärder som stärker Sveriges industriella kompetens och  
konkurrenskraft. För mer information om IVA och IVAs projekt,  
se IVAs webbplats: [www.iva.se](http://www.iva.se)

Utgivare: Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademien (IVA), 2009  
Box 5073, SE-102 42 Stockholm  
Tfn: 08-791 29 00

IVA-M 405  
ISSN: 1102-8254  
ISBN: 978-91-7082-804-1

Projektledare: Harald Haegermark  
Layout: Eva Stattin & Pelle Isaksson, IVA  
Produktion: Tryckfaktorn AB  
Tryck: Globalt Företagstryck AB

Denna rapport kan laddas ned som pdf-fil  
via projektets hemsida [www.iva.se/energi](http://www.iva.se/energi)  
eller beställas via [info@iva.se](mailto:info@iva.se)

# Förord

Denna rapport är framtagen av projektet *Vägval energi* som drivs av IVA under 2008–2009 med stöd av Energimyndigheten, Formas, Svensk Energi, Ångpanneföreningens forskningsstiftelse och Svenskt Näringsliv. Rapporten baserar sig delvis på tillgängliga analyser och rapporter, men är framför allt resultatet av arbetet som bedrivits inom arbetsgruppen *Teknikutveckling*.

Övriga gruppers analyser och förslag presenteras i detalj i separata rapporter som kan laddas ner från projektets hemsida, [www.iva.se/energi](http://www.iva.se/energi). *Vägval energi* presenterar en sammanfattande syntesrapport senare under året.

Teknikutvecklingsgruppen har bestått av följande personer ur IVA:s nätverk:

*Lennart Billfalk*, (ordförande), Vattenfall AB

*Lars Atterhem*, Skellefteå Kraft AB

*Monica Axell*, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut AB

*Gunnar A. Bengtsson*, Volvo AB

*Lina Bertling*, professor, Chalmers

*Harald Haegermark*, (projektledare), CHH Consulting

*Bengt "Nippe" Hylander*, ÅF Process

*Stefan Jakélius*, Industrifonden

*Bengt Kasemo*, professor, Chalmers

*Erica Löfström*, Linköpings universitet

*Gustaf Löwenhielm*, Strålskyddsmyndigheten

*Stefan Montin*, Elforsk AB

*Lars Nielsen*, professor, Linköpings Universitet

*Bo Normark*, Power Circle

*Peter Rohlin*, Energimyndigheten

*Maria Sandqvist*, Teknikföretagen

*Lars Strömberg*, Vattenfall AB

*Jan Wallenius*, professor, KTH

Vi vill tacka alla för det stora engagemang och de insiktsfulla erfarenheter som deltagarna frikostigt har delat med sig av samt de värdefulla och viktiga synpunkter som resulterat i rapportens förslag.

Vi vill också tacka Elforsk AB, som ställt material till förfogande från sina projekt samt Profu AB, Vattenfall Research and Development, ÅF, Stig Göthe och Power Circle för väl genomförda uppdrag åt Teknikutvecklingsgruppen.

Avslutningsvis vill vi betona att all framtidsanalys måste innehålla ett stort mått av ödmjukhet. Utvecklingen går snabbt, inte minst inom teknikområdet, och det är inte enkelt att läsa framtiden. Detta ska dock inte hindra ansatsen. Vår förhoppning är att våra förslag ska tas emot väl.

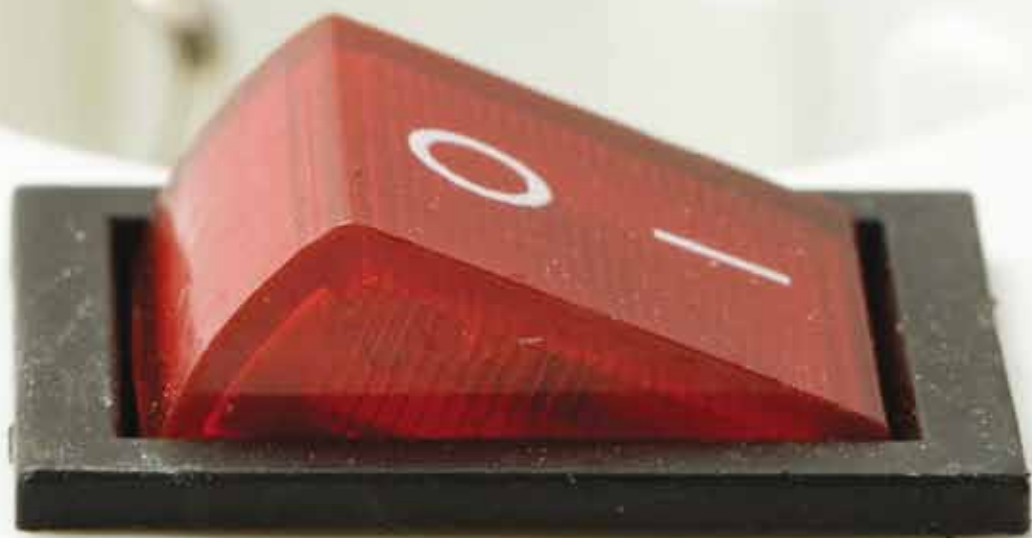
Stockholm, mars 2009

*Lennart Billfalk*, tekn. dr, Senior Advisor, Vattenfall AB

Ordförande Teknikutvecklingsgruppen

*Harald Haegermark*, civilingenjör, CHH Consulting

Projektledare Teknikutvecklingsgruppen



# Innehållsförteckning

<b>Sammanfattning</b> .....	6
<b>Summary</b> .....	8
<b>1. Bakgrund och syfte</b> .....	11
Syfte med rapporten.....	11
Rapporten bygger på delstudier.....	12
<b>2. Så påverkas energisystemet av EUs energi- och klimatpaket</b> .....	13
EUs energi- och klimatpaket.....	13
Förutsättningar för analysen.....	13
Resultat.....	14
Diskussion.....	15
Slutsatser och vägvalsfrågor.....	16
<b>3. Teknikutveckling krävs på många områden</b> .....	17
<b>4. Teknik för elproduktion</b> .....	19
Elproduktion från fossila bränslen.....	19
Elproduktion från förnybara bränslen.....	19
Elproduktion från icke kommersiell teknik.....	20
Energitekniker som utnyttjar spillvärme.....	21
Kostnader för olika tekniker.....	21
<b>5. Teknikområden av särskild betydelse för vägval</b> .....	23
Kärnkraft.....	23
Elnäten.....	24
Laddhybrider och elbilar.....	27
Avskiljning och lagring av koldioxid.....	27
Biodrivmedel.....	29
<b>6. Viktiga slutsatser och vägval de närmaste åren</b> .....	33
<b>Bilaga</b> .....	35
Om projektet.....	35
Referenser.....	35

# Sammanfattning

Under de närmaste åren förestår politiska beslut i Sverige och EU kring den närmare utformningen av EUs så kallade 20-20-20-mål och åtföljande EU-direktiv. Överläggningarna om ett nytt internationellt klimatavtal efter 2012 står för dörren.

EU-målen innebär att minska utsläppen av växthusgaser med 20 procent, öka andelen förnybar energi med 20 procent och att energieffektivisera med 20 procent – allt till år 2020.

Enligt den analys av konsekvenserna av målen som Teknikutvecklingsgruppen har låtit Profu genomföra, blir koldioxidminskningen i det stationära nordiska energisystemet 40 procent, och inte 20 procent, om samtliga EU-mål ska uppnås. Den samhällsekonomiska kostnaden är störst för att nå effektiviseringsmålet, följt av förnybarhetsmålet och CO<sub>2</sub>-målet.

På basis av denna analys och sammanställningar om teknikutvecklingen vill vi peka på följande viktiga vägvalsfrågor:

- Vill Sverige ha optionen kärnkraft i framtiden eller inte?
- Hur väljer man goda styrmedel för ny elproduktion och nät?
- Hur ska transportsektorns koldioxidutsläpp bäst minskas och hur utformas styr- och stimulansåtgärder för att främja en sådan utveckling?

## Vi föreslår följande:

Genomför en djupare analys av EU-målen konsekvenser, så att styrmedlen ger den bästa kombinationen vad gäller klimat, ekonomi och försörjningstrygghet. Att nå EU-målen kräver stora investeringar i elproduktion, särskilt förnybar, och i elnät. Det krävs internationellt harmoniserade styrmedel och andra stimulansåtgärder för att nödvändiga investeringar ska ske. Styrmedlen måste ge stabila spelregler för energisystemets alla aktörer. De stora investeringarna ger ett gott till-

fälle för svensk industri att utveckla ny teknik och nya systemlösningar.

Snabba upp tillståndsprocesser för anläggningar, för energiproduktion och för elnät.

Upprätta en långsiktig plan för beslut om förstärkningar av elnäten liksom en tidplan för dithörande beslut och processer. Dessutom bör en gemensam plan för Norden tas fram rörande utlandsförbindelserna.

Argumentera för ett EU-gemensamt certifikatsystem för förnyelsebar energi. EUs förnybarhetsmål medför ökade svenska exportmöjligheter för elkraft, men dagens svenska certifikatsystem leder till att det framtida överskottet på elproduktion betalas av svenska elkunder

Genomför omgående en lagändring för att kunna planera för ny kärnkraft. Detta är nödvändigt om Sverige önskar ersätta elproduktionen från de två äldsta kärnkraftsblocken, som kan behöva stängas 2020-2025 av ekonomiska skäl. Kraftföretag behöver planera för investeringar och säkerhetsmyndigheter behöver göra sina förberedelser. Eftersom bortfallet av övriga, nuvarande kärnkraftanläggningar kommer relativt tätt under åren 2035-2045, finns det ytterligare skäl att hålla optionen med ny kärnkraft möjlig.

Satsa kraftigt i Sverige på forskning, utveckling, demonstration och tillämpning av ny teknik och system inom många områden.

Fortsätt insatserna inom CCS-området (avskiljning och lagring av koldioxid) på svenska företag och högskolor. Det krävs för att kunna bedöma teknikens konsekvenser för Sverige och dess användbarhet och säkerhet på längre sikt. Genomslaget kan komma efter 2020 och gäller i första hand CCS för kraftverk, men CCS kan även få betydelse för stora punktkällor för koldioxidutsläpp från energiintensiv industri.

Formulera en nationell vision för laddhybrider och elbilar för Sverige. Enligt förslaget från Energianvändargruppen innebär denna att Sverige har

600 000 laddhybrider och elbilar år 2020. Detta kan radikalt reducera transportsektorns koldioxidutsläpp, oljeförbrukning och energianvändning, samt utveckla svensk industri. Konsekvenserna för elproduktion och elnät i Sverige blir måttliga. Vissa infrastrukturinvesteringar skulle krävas, men detta skulle också skapa vissa möjligheter till energilagring i elsystemet.

Introducera andra generationens drivmedel för att minska konkurrensen om mark för mat-

produktion, och för att göra framställningen av biodrivmedel mera energieffektiv. Detta kommer att fordra politiska beslut under de närmaste åren, särskilt om styrmedel samt om forsknings- och demonstrationsstöd, även om en kommersiell tillämpning av andra generationens biodrivmedel ligger bortom 2020. Sverige gör redan nu stora insatser inom detta område. Frågan om biobräns- lens klimatneutralitet är omdiskuterad och kräver ytterligare forskning.

# Summary

In the next few years political decisions lie ahead in Sweden and the EU regarding the detailed formulation of the EU's so-called 20-20-20 targets and accompanying EU directives. Talks on a new international post-2012 climate agreement are imminent.

The EU targets involve reducing emissions of greenhouse gases by 20 per cent, increasing the proportion of renewable energy by 20 per cent and improving energy efficiency by 20 per cent – all by the year 2020.

According to the analysis of the consequences of the targets that the Technology Development Group has commissioned from Profu, the reduction in carbon dioxide in the stationary energy system in the Nordic region will be 40 per cent, not 20 per cent, if all the EU targets are to be achieved. The biggest socio-economic cost is associated with achieving the efficiency target, followed by the costs associated with achieving the renewable energy target and the CO<sub>2</sub> target.

On the basis of this analysis and compilations about technology development, we want to highlight the following important key issues:

- Does Sweden want to have the option of nuclear power in the future or not?
- How to choose good policy instruments for new electricity production and networks?
- How best to reduce the carbon dioxide emissions of the transport sector and how to develop control and incentive measures that promote such a development?

## **We are proposing the following:**

Carry out a more in-depth analysis of the consequences of the EU targets, so that the policy instruments produce the best combination as regards climate, economy and security of supply. To achieve the EU targets would require large investments in electricity production, particularly

renewable energy, and in electricity networks. Internationally harmonized policy instruments and other incentive measures are required in order for the necessary investments to take place. The policy instruments have to provide a level playing field for all players in the energy sector. The large investments will present Swedish industry with a good opportunity to develop new technology and new system solutions.

Speed up the permitting processes for plants and energy production and electricity networks.

Prepare a long-term plan regarding decisions on strengthening the electricity networks, as well as a time schedule for associated decisions and processes. Furthermore, a joint plan regarding foreign connections should be developed for the Nordic region.

Lobby for an EU-wide certificate system for renewable energy. The EU target on renewable energy will result in improved opportunities for Sweden to export electricity, but the certificate system currently in force in Sweden will result in the future surplus in electricity production being paid for by Swedish electricity customers.

Carry out an immediate change in legislation to facilitate planning for new nuclear power. This is necessary if Sweden wants to replace electricity production from the two oldest nuclear power plants, which may have to close around 2020-2025 for financial reasons. Power companies need to plan their investments and the safety authorities need to make their preparations. Since other existing nuclear power plants will be decommissioned on a relatively frequent basis in the period 2035-2045, there are even more reasons to keep open the option of new nuclear power.

Invest heavily in Sweden in research, development, demonstration and implementation of new technology and systems in several areas.

Swedish companies and universities should continue their investments in the area of CCS

(capture and storage of carbon dioxide). This is necessary in order for it to be possible to evaluate the consequences of the technology for Sweden and its usefulness and safety in the longer term. A breakthrough is envisaged after 2020 and will in the first instance concern CCS at power stations, but CCS may also be applied to large point sources of carbon dioxide emissions from energy intensive industry.

Formulate a national vision for plug-in hybrids and electric cars in Sweden. According to the proposal from the Energy Users Group, this means that Sweden will have 600,000 plug-in hybrids and electric cars in 2020. This could radically reduce the carbon dioxide emissions, oil consumption and energy consumption of the transport sector, as well as develop Swedish industry. The consequences for electricity produc-

tion and electricity networks in Sweden will be moderate. Some infrastructure investments would be required, but this would also create some opportunities for energy storage in the electricity system.

Introduce second-generation biofuels to reduce competition for land for food production, and to make production of biofuels more energy efficient. This will require political decisions in the next few years, particularly regarding policy instruments and regarding support for research and demonstration, even though commercial application of second-generation biofuels lies beyond 2020. Sweden is already making substantial investments in this area. The issue of whether biofuels are climate neutral is a contentious one and will require further research.



# I. Bakgrund och syfte

De viktigaste drivkrafterna för utvecklingen inom energiområdet globalt, i Europa och nationellt för avsevärd framtid är miljö- och speciellt klimatfrågorna, försörjningstrygghet samt att uppnå konkurrenskraftiga energisystem.

Ett praktiskt uttryck för dessa mål och drivkrafter i Europa är EUs energi- och miljöpolitiska paket, de så kallade 20-20-20-målen, för minskning av koldioxid, samt ökning av förnybar energi och energieffektivisering. En viktig kommande drivkraft är vad ett kommande internationellt klimatavtal, efter Kyotoavtalets slut 2012, kan leda till och kräva av energisystemen.

I Sverige är den framtida utvecklingen av den nuvarande kärnkraften en väsentlig drivkraft samt ett viktigt bivillkor för energi- och miljöpolitiken och för inriktningen av teknikutvecklingen.

## Syfte med rapporten

Målen för arbetsgruppen för teknikutveckling är att visa hur teknisk utveckling kan bidra till ett framtida svenskt energisystem, som uppfyller följande tre kriterier:

- Nuvarande och kommande miljökrav. Det kräver högre energieffektivitet, minskade koldioxidutsläpp samt en ökad andel förnybar energi
- Har en hög leveranssäkerhet och hög störningsberedskap
- Stärker konkurrenskraften för svenskt näringsliv. I begreppet konkurrenskraft innefattas både att energisystemet ger konkurrenskraftiga priser till

kunder och att energiområdet ger industri i Sverige möjligheter att utveckla intressanta produkter och system.

Dessutom vill vi visa på hur olika vägval i det svenska energisystemet påverkar svenskt näringsliv.

### Avgränsningar

Rapporten omfattar främst Sverige, som dock ses som en del av Nordeuropa – det vill säga Norden, Tyskland, Polen och Baltikum. Förslagen avser det som kan påverkas genom åtgärder i Sverige.

Rapporten behandlar inte teknikutveckling för:

- byggnader (isolering, byggnadssätt, klimatskal etc)
- industriprocesser innanför fabriksväggarna
- fordon (däremot produktion av drivmedel)

Dessa områden behandlas i rapporten om energianvändning inom IVA-projektet Vägval Energi.

### Särskilda uppgifter

Utöver ovanstående mål har projektledningen för IVAs projekt Vägval Energi bett teknikutvecklingsgruppen att:

- Studera elsystemets framtida roll i ett energisystem där elen är en central energibärare – även för transportsektorn.
- Se på hur dagens incitament fungerar och vilka nya som kan behövas.
- Föreslå kriterier för en god energi- och klimatpolitik.

Teknikutvecklingsgruppen har behandlat den första av dessa frågor men de två övriga endast översiktligt.

## Rapporten bygger på delstudier

Föreliggande rapport är en förkortad version av en mer omfattande studie, som finns på webbsidan [www.iva.se/energi](http://www.iva.se/energi). Där finns också de delstudier som teknikutvecklingsgruppen har låtit göra. Dessa rekommenderas som bakgrund och referenser till den föreliggande rapporten:

- Konsekvensanalys av EUs 2020-mål  
En analys av konsekvenser med EUs klimat- och energipaket, det så kallade 20-20-20-målet.  
Utförare: Profu
- Vägval för de svenska elkraftnäten – för säkra elleveranser också efter 2020  
En studie av elnäten.  
Utförare: Power Circle.
- Utveckling av ny elproduktionsteknik  
En översiktlig redogörelse för teknikutveckling.  
Utförare: Vattenfall Research&Development
- Möjligheter för avskiljning och lagring av koldioxid i Sverige  
En studie av CCS för industri.  
Utförare: ÅF
- Kort historik om det svenska elsystemets framväxt och några framtidsfrågor.  
Utförare CHH Consulting

## 2. Så påverkas energisystemet av EUs energi- och klimatpaket

*De vägval som görs under de närmaste åren, av politiker och aktörer på energimarknaden, är avgörande för utvecklingen av energisystemet. Vi har därför låtit Profu analysera konsekvenserna av EUs energi- och klimatmål till 2020 för de stationära energisystemen i Norden.*

### **EUs energi- och klimatpaket**

I januari 2008 lade EU-kommissionen fram sitt energi- och klimatpaket och i december 2008 nåddes en överenskommelse med EU-parlamentet. Målet med åtgärds paketet är att minska utsläppen av växthusgaser med minst 20 procent jämfört med 1990 samt att öka andelen förnybar energi i EU från 8,5 till 20 procent fram till 2020.

Målet om utsläppsminskningar på 20 procent jämfört med 1990 motsvarar en minskning med 14 procent jämfört med nivån år 2005. Minskningen ska nås dels genom systemet för handel med utsläppsrätter, dels genom åtgärder i andra sektorer. Handelssystemet kommer att utvidgas och antalet utsläppsrätter kommer att minskas efter hand så att de utsläpp som täcks av systemet minskar med 21 procent jämfört med 2005 års nivåer.

Inom sektorer som inte omfattas av handelssystemet ska utsläppen i genomsnitt minska med tio procent jämfört med 2005. För Sveriges del ska minskningen vara 17 procent.

För att nå målet om 20 procent förnybar energi till 2020 sätter kommissionen individuella och obligatoriska mål för alla EU-länder, som för Sveriges del innebär en ökning från 40 till 49 procent förnybar energi.

Även energieffektivisering omfattas av EUs

politik. I dag finns ett direktiv om nio procents effektivisering till 2016 och ett mål om 20 procent till 2020 har föreslagits, men ännu inte beslutats.

### **Förutsättningar för analysen**

Profu har, med energisystemmodellen MARKAL, analyserat en serie utvecklingsscenarier för det stationära nordiska energisystemet, exklusive transportsektorn.

Huvudscenariot omfattar EUs gröna paket, det vill säga EUs mål om minst 20 procent förnybart i energimixen och en minskning av koldioxidutsläppen med 20 procent. Profu har i alternativa scenarier också analyserat effekten av EUs förslag till mål om 20 procent effektivisering, en öppen handel inom det förnybara direktivet, en ökad acceptans för utbyggnad av kärnkraft och vattenkraft samt en utvecklingsväg där inte EUs mål nås (ett referensscenario byggt på business-as-usual)<sup>1</sup>.

Analysen har som en implicit förutsättning att alla parter, det vill säga politiker, näringsliv, akademi och enskilda individer handlar i riktning mot målen. Det har inte ingått i uppdraget att analysera vad som krävs, i form av politiska detaljbeslut, incitament och styrmedel för att målsättningen ska bli verklighet.

<sup>1</sup> Profu har utfört liknande analyser i ett projekt för Elforsk, elföretagens gemensamma FoU-bolag. Elforsk har ställt material om dessa analyser och andra studier till vårt förfogande och materialet har använts i denna rapport. Omvänt kommer Elforsk att utnyttja material från vår rapport.

## Resultat

### Elproduktion

Profus analyser visar att nära nog all ny elproduktion i Norden blir koldioxidneutral. Det kan ske genom en utbyggnad av biobränsleddade kraftverk, vindkraft samt vattenkraft, varav endast en mindre del i Sverige. Dessutom sker en utbyggnad av finsk kärnkraft och effektförstärkningar i svenska kärnkraftverk.<sup>2</sup>

Utbyggnaden av gaskraftverk avstannar och kraftverk som bygger på kolkondens får allt kortare drifttider.

Elanvändningen ökar i huvudscenariot, men minskar efter år 2020 om även effektiviseringsmålet ska gälla. Primärenergiviktning blir central för hur man ser på kärnkraften och vilka konsekvenser den får.

Om kärnkraftens primärenergiåtgång viktas med hänsyn till dagens förhållandevis låga elverkningsgrad i ett kärnkraftverk leder detta till att avveckling skulle räknas som en "lönsam" effektiviseringsåtgärd.<sup>3</sup> Men med tanke på att uran

inte har någon annan direkt nyttig användning än för elproduktion, skulle ett sådant räknesätt missgynna kärnkraft i förhållande till mer kostsam elproduktion, från till exempel ny vindkraft. För framtiden är det naturligtvis också viktigt att öka kärnkraftens bränsleeffektivitet (se kapitel 5).

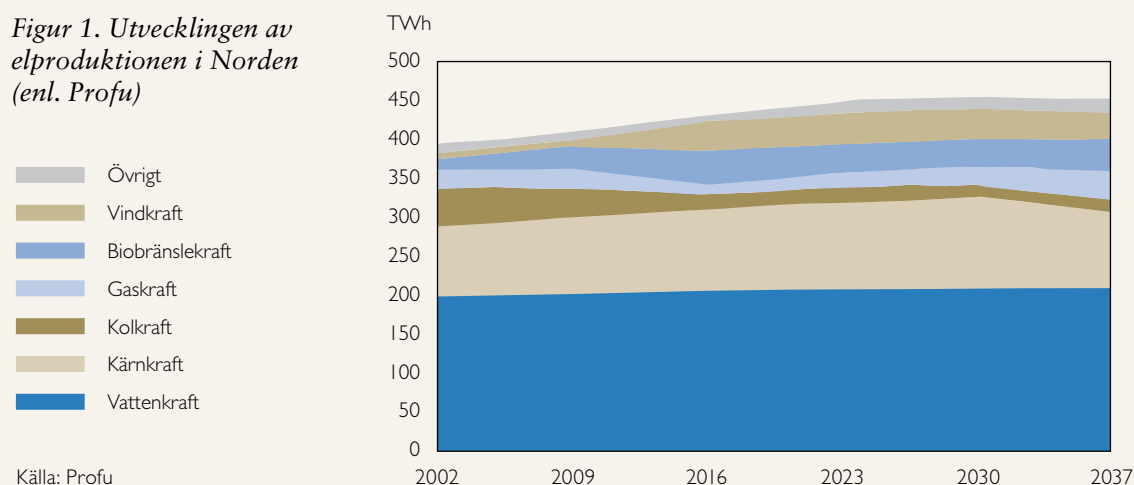
### Utsläpp av koldioxid

Om förnybarhetsmålet uppfylls, kommer utsläppen av koldioxid att minska med 25 procent i Norden. Om alla tre målen uppfylls kommer utsläppen att minska med över 40 procent.

### Samhällsekonomi

Av de tre målen är den samhällsekonomiska kostnaden störst för att nå målet på tjugo procents energieffektivisering. Förnybarhetsmålet innebär den näst högsta kostnaden, medan koldioxidmålet är minst kostsamt. Åtminstone om vi utgår från ett referensfall där enbart nuvarande styrmedel gäller. Delar av koldioxidmålet kommer att uppfyllas redan i referensfallet.

Figur 1. Utvecklingen av elproduktionen i Norden (enl. Profu)



<sup>2</sup> Någon ny kärnkraft byggs emellertid inte ut i Sverige. Konsekvensanalysen har utgått från Energimyndighetens antagande om att nuvarande tio kärnkraftreaktorer finns kvar i drift till efter 2030.

<sup>3</sup> Viktningsfaktorn tar hänsyn till samtliga omvandlingsförluster i hela kedjan, från outnyttjad resurs till använd energi. Viktningsfaktorn återspeglar därför förhållandet mellan utnyttjad primärenergi i uranet och mängden slutanvänd energi (av energiinnehållet i uran blir cirka 33 procent el i svenska kärnkraftverk, resten blir värme). Valet av viktningfaktor har stor betydelse för vilken typ av energianvändning och därmed vilka effektiviseringsåtgärder som bör prioriteras. Energieffektiviseringsutredningen, SOU 2008:110, har föreslagit att svensk el får viktningfaktor 1,5, det vill säga för att leverera 1 kWh el åtgår 1,5 kWh energi i systemet.

## **Förnybar energi**

Användningen av förnybar energi ökar kraftigt i Norden. Redan i referensfallet ökar användningen av biobränslen med 50-60 TWh till år 2020, och med ytterligare 20 TWh till år 2030. Om även förnybarhetsmålet uppfylls ger det ytterligare 10-20 TWh förnybar energi i huvudsce-nariot. Vindkraften byggs ut med 30 TWh i Norden varav 12-15 TWh i Sverige.

## **Export av el**

Svensk elexport ökar kraftigt i samtliga scenarier. En öppen handel i Europa inom ramen för förnybarhetsdirektivet skulle kunna öka exportvolymerna från Norden till 40 TWh. Om samtidigt vindkraften byggs ut kräver en ökad export stor förstärkning av elnäten inom Sverige men också mellan Sverige och grannländerna i Nordeuropa.

## **Försörjningstrygghet**

Försörjningstryggheten i Norden ökar om målen uppfylls, eftersom importberoende och användning av fossila bränslen minskar.

## **Övrigt**

Fjärrvärmens stagnerar eller minskar till och med om effektiviseringsmålet ska nås. Däremot ökar avfallsbränslens andel i bränslemixen. Lönsamheten för värmepumpar i värmeförsörjningen ökar.

## **Diskussion**

### **Förnybarhets- och effektiviseringsmålen är strängare än klimatmålet.**

En ökad användning av förnybara energislag samt energieffektivisering är förutsättningar för att EU skall nå de mål man satt upp. Samtidigt indikerar analyserna att konsekvensen av att alla målen uppnås är en fyrtio procents minskning av koldioxidutsläppen – anledningen är att förnybarhets- och effektiviseringsmålen är strängare än klimatmålet. Det skulle bli en bättre balans mellan målen för Sveriges och Nordens energisystem om förnybarhets- och effektiviseringsmålen förändrades något. Exempelvis om effektiviseringar tydligare fokuserade på fossila bränslen, samtidigt som förnybarhets- och effektiviseringsmålen mildrades i relation till klimatmålet. Ett annat alternativ är att skärpa klimatmålet, från tjugo till trettio procents minskning av koldioxidutsläpp till år 2020.

## **Strikt tillämpning av målen stänger ute möjligheter**

Analyserna omfattar de stationära energisystemen i Norden men inte transportsektorn. Om transportererna också tas med i analyserna och man antar att transportsektorn inte alls klarar av att nå sina mål, ökar trycket på den stationära sektorn. Då kan balansen visserligen bli mer realistisk, men då återstår ändå frågan om verkligen förnybar energi och effektivisering är de bästa och mest kostnadseffektiva klimatåtgärderna.

Sveriges energipolitiska vägval måste beakta energisystemens långsiktighet och ta hänsyn till såväl internationella som nationella beslut. De internationella åtagandena begränsar kraftigt det nationella handlingsutrymmet. Profus analyser visar till exempel att EUs ambitiösa mål för förnybar energi och energieffektivisering minskar utrymmet för att tillämpa CCS och för expansion av kärnkraften i Norden – trots att denna är koldioxidneutral. Kärnkraftens framtid påverkas som tidigare nämnts av hur dess primärenergiförbrukning (uran) viktas.

## **Biobränslen får ökad konkurrens**

Användningen av biobränslen ökar i alla Profus scenarier. Det finns emellertid ett tak för denna ökning. Biobränsleexpansionen drivs bland annat av värmebehoven. När värmebehovet fylls av andra alternativ, exempelvis avfallsförbränning och värmepumpar, finns inte längre samma utrymme för en fortsatt ökning av biobränslen. Biobränslena får alltså, precis som i fallet med kärnkraften, en allt större konkurrens av alternativ som gynnas ännu mer av EUs mål.

## **Harmoniserade styrmedel viktigt**

Svenska politiker har uppgiften att fördela ansvaret för genomförandet av politiken mellan de olika samhällssektorerna och mellan aktörerna. De styrmedel som väljs, skall ge en balans mellan kostnadseffektivitet och genomförbarhet. Styrmedel måste ge stabila spelregler för energisystemets alla aktörer. Det är vidare viktigt att de blir harmoniserade i förhållande till andra länder och till EUs direktiv.

## **Försörjningstrygghet – mer än bara importberoende**

Försörjningstryggheten är en av hörnstenarna i energipolitiken. Enligt Profus analyser leder EUs gröna paket till ett minskat importberoende för

Sverige och Norden (räknat som årlig användning av primärenergi). Försörjningstrygghet handlar dock om mycket mer än graden av importberoende. Tillgänglig infrastruktur, säker elproduktion (exempelvis ”backup” för vindkraft) samt flexibilitet i energisystemen är andra viktiga faktorer för försörjningstryggheten. Dessa frågor måste politiker och andra aktörer hantera samtidigt med EU-målen.

## Slutsatser och vägvalsfrågor

Utifrån ovanstående resonemang drar vi följande slutsatser:

- Att nå EU-målen kräver stora investeringar i dels elproduktion, särskilt av förnybar el, dels elnät (se även kapitel 5).
- Omfattande och internationellt harmoniserade styrmedel samt andra stimulansåtgärder krävs för att dels åstadkomma nödvändiga investeringar,

dels ge tydliga och långsiktiga spelregler för energisystemets alla aktörer.

- Snabbare och mer effektiva tillståndsprcesser fordras för att kunna nå EUs 20-20-20-mål.
- Det är nödvändigt att undvika oönskade effekter av målen, till exempel att kärnkraftavveckling kan ses som en effektiviseringsåtgärd och samtidigt är ett viktigt sätt att nå CO<sub>2</sub>-målet
- Det är viktigt att snabbt undanröja lagliga hinder för att vid behov kunna ersätta två kärnkraftreaktorer i början av 2020-talet (se även kapitel 5).
- Frågan om biobränselns koldioxidneutralitet är omdiskuterad och kräver ytterligare forskning.

Vi vill också lyfta fram tre viktiga frågeställningar:

- Vill Sverige ha optionen kärnkraft i framtiden eller inte?
- Hur väljer man goda styrmedel för ny elproduktion och nya elnät?
- Hur ska transportsektorns koldioxidutsläpp bäst minskas och hur utformas styr- och stimulansåtgärder för att främja en sådan utveckling?

# 3. Teknikutveckling krävs på många områden

*För att nå EUs politiska mål och kommande mål och krav i internationella klimatavtal kommer det att krävas en kraftfull internationell teknik- och systemutveckling inom många områden och discipliner. Inte minst krävs insatser för att nyttiggöra och kommersialisera utvecklingsresultat.<sup>4</sup> Svensk forskning och industri har goda möjligheter att bidra till utvecklingen.*

När det gäller tillförsel, det vill säga produktion, av energi, har Sverige stora kunskaper på kärnkraftsområdet, om vindkraft samt om bioenergis kedja – från odling till energiomvandling. Som framgår av Profus analyser i föregående avsnitt, har alla dessa energislag en stor betydelse redan i det korta tidsperspektivet till år 2020.

På användarsidan finns stora kunskaper om energieffektivisering inom sektorerna bostäder, lokaler, industri och transporter. Möjligheter på dessa områden behandlas i en annan av rapporterna från Vägval energi.

På längre sikt (längre än år 2020) kan vågkraft och solceller få betydelse liksom teknik att avskilja och lagra koldioxid, ny kärnkraftteknik samt andra generationens drivmedel. På ännu längre sikt tillmäts vätgas förhoppningar, särskilt i kombination med bränsleceller. Fusionsenergi ter sig fortfarande alltför avlägsen för att beaktas i denna studie.

För att få en bild av teknikutvecklingsbehovet och dess möjligheter att bidra till energi- och miljöpolitiska mål har vi bland annat tagit hjälp av två studier som publicerades under 2008, dels en

rapport som McKinsey gjort på uppdrag åt Svenskt Näringsliv<sup>5</sup> dels en rapport från IEA<sup>6</sup>. Dessutom har teknikutvecklingsgruppen gett uppdrag til Vattenfall Research and Development att kortfattat belysa utvecklingsläge och potentialer för ett antal tekniker.

De tekniker för energitillförsel och energianvändning som står till buds, särskilt fram till 2020, är väl kända. På längre sikt finns flera tekniker som är kända i princip men som befinner sig i olika utvecklingsstadier, allt ifrån de som kan tillämpas kommersiellt tämligen snart till sådana som inte får sin praktiska tillämpning förrän om flera decennier.

I Sverige finns en särskild utmaning. Om nuvarande kärnkraft ska avvecklas, finns ingen elproduktionsteknik som på egen hand har potential att ersätta motsvarande mängd el. Detta gäller även om energieffektivisering tillämpas ambitiöst. Elproduktion från kol- eller gaskraftverk skulle visserligen kunna ge betydande tillskott, men för dessa tekniker sätter klimatmålen upp begränsningar.

<sup>4</sup> Det sista ledet uppmärksammas allt mer i både det svenska energiforskningsprogrammet och internationellt. På engelska ser man numera förkortningen RD<sup>3</sup> för Research, Development, Demonstration and Deployment.

<sup>5</sup> Möjligheter och kostnader för minskning av växthusgaser i Sverige, McKinsey för Svenskt Näringsliv m fl, 2008

<sup>6</sup> Energy Technology Perspectives 2008 – Scenarios and Strategies to 2050, IEA



# 4. Teknik för elproduktion

*Följande avsnitt redogör översiktligt för ett antal elproduktionstekniker. Dessutom bedöms möjlig utveckling fram till 2020. Slutligen görs en uppskattning av investerings- och produktionskostnaden för varje teknik.*

## Elproduktion från fossila bränslen

### Kolkraft

Den internationella utvecklingen av tekniken för stora kraftverk fortsätter mot allt högre elverkningsgrader. I dag är standarden för stenkol i kondenskraftverk cirka 47 procent. Möjligheter finns att nå verkningsgrader på kanske 50-52 procent, bland annat med hjälp av allt högre ångdata, bättre turbiner, lägre kondensortryck och optimering av ångsystemen. Det sker också utveckling kring metoder att avskilja och lagra koldioxid (se vidare avsnitt 5).

### Gaskraft

I dag är en typisk elverkningsgrad för mindre naturgaseldade kraftvärmeverk 46 procent, medan den för större kraftverk kan nå 49 procent (totalverkningsgraden, för el och värme, blir då omkring 90 procent). För att nå högre verkningsgrader i stora kombikraftverk arbetar man med allt högre temperaturer i gasturbinen. I dag finns demonstrationsanläggningar där turbininloppstemperaturen är cirka 1 500 grader, och man siktar på att nå 1 700 grader fram till år 2030. Det kan ge elverkningsgrader på upp till cirka 60 respektive 65 procent.

### Ett nytt gasturbinkoncept TopCycle

Ett nytt gasturbinkoncept, TopCycle, är under utveckling av Euroturbine i Finspång. Tekniken, som i huvudsak använder befintliga kraftverks-

komponenter, bygger på att höja trycket i en gasturbinprocess med hjälp av en överladdare – vilket kan jämföras med en turbo i bilmotorer. I TopCycle-turbinens brännkammare injiceras vattenånga, vilket innebär att effekten från gasturbinen ökar 2-3 gånger – och når därmed samma prestanda som i ett kombikraftverk.

## Elproduktion från förnybara bränslen

### Biobränsle för kraftvärme

En typisk elverkningsgrad för biobränsleeldade kraftvärmeverk, försedda med rökgaskondensator, är i dag omkring 30 procent (total verkningsgrad, el och värme, är omkring 110 procent).<sup>7</sup> Denna teknik förblir dominerande under tidsperioden fram till 2020. Fram till dess är det sannolikt möjligt att nå ett par procentenheter högre elverkningsgrad än i dag.<sup>8</sup>

Biobränsleeldade kraftverk är mindre än gas- och kolkraftverk och de har betydligt lägre maximal effekt. Teknikutvecklingen är emellertid densamma, det vill säga allt högre ångtemperaturer och därmed högre elverkningsgrad. Utvecklingen begränsas dock av krav på bränsleflexibilitet och biobränslets egenhet att orsaka korrosion.

### Förgasning av biobränsle

Förgasning av biobränsle (med gasturbin i kombi-cykel eller förgasning med gasmotor), har poten-

<sup>7</sup> Att verkningsgraden kan överstiga 100 % sammanhänger med att verkningsgraden räknas på bränsleutnyttjandet. För en närmare förklaring exempelvis, se Elforsks rapport El från nya anläggningar (2007)

<sup>8</sup> Elforsk planerar ett större forskningsprogram med målet att omkring 2015 kunna bygga en demonstrationsanläggning med betydligt högre ångdata än dagens kraftverk baserade på skogsbränslen. Även avfallsbränslen kommer att ingå i programmet.

tiellt en högre elverkningsgrad än vad som i dag bedöms vara tekniskt optimalt för mindre kraftvärmeanläggningar. Hittills har dock inte detta gett tekniken någon kommersiell tillämpning. Tekniken förväntas heller inte kunna konkurrera med konventionell teknik för kraftvärme fram till 2020. Däremot utgör förgasning ett av sätten att tillverka syntetiska drivmedel från biobränslen, se avsnitt 5.

### Vindkraft

Maximala turbinstorlekar på vindturbiner har fördubblats ungefär vart femte år. Fram till perioden 2010-2015 förväntas storleken på de största turbinerna öka, från dagens maximalt installerade effekter på 2-5 MW och rotordiametrar på upp till 120 meter, till cirka 10 MW och omkring 180 meters rotordiameter. Marknaden för vindkraft i världen ökar snabbt vilket bör leda till successivt minskade kostnader för vindkraftverk genom så kallade lärkurveeffekter.

Havsbaseade vindkraftverk är dyrare än landbaseade, men dess potential är stor. Höga investeringskostnader uppvägs delvis av högre vindstyrkor och därmed högre elproduktion (per installerad effekt) än för landbasead vindkraft. Hittills har drygt tjugo havsbaseade vindkraftprojekt byggts, huvudsakligen runt Nordsjön och Östersjön.

Vindkraft står för merparten av den tillväxt av förnybar energi som förväntas fram till år 2020. Systemkostnaderna inklusive kostnaden för nätförstärkningar och reglerkraft ökar dock med installerad effekt, men var kostnadsökningen för systemet blir så kraftig att tillväxten förhindras är fortfarande inte klart. Hittills har Nordeuropas system kunnat absorbera de installerade volymerna.

### Vågkraft

Det finns en mängd tekniker för vågkraft under utveckling, av vilka några har testats i prototypanläggningar, bland annat i Sverige. Det finns en betydande potential för vågkraft i världen. I Europa är det framförallt Atlant- och Nordsjökusten som har bra förutsättningar för vågkraft. Fortsatt omfattande forskning och utveckling behövs.

Vågkraft längs Sveriges kuster kan dock bara ge ett marginellt tillskott till år 2020.

## Elproduktion från icke kommersiell teknik

### Solceller

Kiselsolcellen är i dag den vanligaste och mest utvecklade. Tillförlitligheten är hög, underhållsbehoven är små och den har en lång livslängd, mer än 25 år. Kostnaderna är dock för höga för att kiselsolceller ska kunna vara konkurrenskraftiga för produktion till elnätet.

Tunnfilmssolceller har stor potential att kunna tillverkas i stor skala till låga kostnader, tack vare låg materialåtgång i kombination med effektivare tillverkningsmetoder. Dagens höga kostnader gör att tekniken fordrar kraftiga subventioner, men pågående FoU och snabb ökning av installerad effekt kommer att ge väsentligt lägre styckekostnader.

Solceller har funnit en kommersiell nischmarknad för att försörja småförbrukare långt från nätet, exempelvis fyrar, radiosändare och fritidsboende. Solceller kan dock inte ge något väsentligt bidrag till elförsörjningen till år 2020.

### Stationära bränsleceller

Bränsleceller kännetecknas av höga verkningsgrader, även i små anläggningar och modularitet – det vill säga att små anläggningar kan byggas samman till större. De är lämpliga för kraftvärme. Bränsleceller är nära kommersiella tillämpningar för nischmarknader samt i små storlekar, som kraftenheter för små mobila system. Produktionskostnaden är för närvarande mycket hög, men den kommer att gå ned med ökande tillverkningsvolymerna.

Fungerande bränsleceller finns redan i dag, det största problemet är tillgång på bränsle. Bränsleceller kräver vätgas, som dock inte finns tillgänglig till rimligt pris och med acceptabla miljödata under överskådlig framtid.<sup>9</sup> Stationära bränsleceller kan därför inte ge något tillskott till elproduktionen till 2020.

<sup>9</sup> Vätgas kan framställas av naturgas, propan eller el genom elektrolys. Systemet som helhet ger då endast små miljöfördelar, även om cellen i sig har goda prestanda. På lång sikt kan man tänka sig framställning av vätgas ur till exempel naturgas eller kol, om det kombineras med avskiljning och lagring av koldioxid.

### **Svårbedömd kostnadsutveckling**

Solceller och stationära bränsleceller är lämpliga i små anläggningar. Ägaren till anläggningen kan, förutom att producera sin egen el, eventuellt också producera ett överskott som kan matas in på elnätet. Det innebär att den framtida kostnadsutvecklingen för teknikerna är svår att uppskatta. Visserligen är produktionskostnaden väsentligt högre än vid storskalig, nätansluten elproduktion. Totalkostnaden kan dock bli lägre, om ägaren får minskade kostnader för nätbunden elenergi. Produktionskostnaden för solceller och stationära bränsleceller bör alltså jämföras med slutkundens totala kostnad, inte med produktionskostnaden av andra kraftslag.

### **Energitekniker som utnyttjar spillvärme**

#### **Organic Rankine Cycle, ORC**

I ORC utnyttjas organiska arbetsmedier med lägre förångningstemperaturer än vatten i ångcykler, och ångprocessen kan därför arbeta vid lägre temperaturer vilket kan medge nyttiggörande av spillvärme. I dag finns ett sjuttio-tal bi-bränslebaserade ORC-kraftvärmeverk i Europa. Dessa producerar vardera 0,5-2 MW el. Dessutom finns mångfald fler anläggningar applicerade i spillvärmeströmmar och som avgasvärmeenheter. Verk-

ningsgraden är mycket låg. Tekniken är ändå kommersiell i vissa tillämpningar, exempelvis där avgas- eller vattentemperatur är omkring hundra grader, eftersom gratis spillvärme utnyttjas. ORC kan dock inte ge något stort bidrag till elförsörjningen till år 2020.

### **Kostnader för olika tekniker**

I figur 2 summeras uppskattade kostnader för olika kraftslag. Angivna data är de bästa bedömningar som vi haft möjlighet att göra, utifrån befintliga studier och annan tillgänglig information. För bättre och mer konsistenta bedömningar behövs omfattande arbete(n) med ett flertal experter involverade.

Figur 2 kan enbart användas för att ge översiktliga jämförelser mellan de tekniker som beskrivits och bör alltså inte användas för jämförelser med andra data i litteraturen. Kostnaderna är genomgående angivna utan beaktande av skatter, utsläppsrätter och elcertifikat vilka tillsammans kan både öka och minska kostnaderna för elproduktion beroende på vilken teknik det gäller.

Mer detaljer om figuren och dess förutsättningar framgår av teknikutvecklingsgruppens större rapport och underlagsrapporten från Vattenfall Research and Development.

	Investerings- Kostnad kr/kW	Elproduktions- kostnad kr/MWh <sup>1</sup>	Kostnads- utveckling till 2020	Anmärkning
<b>Elproduktion från konventionella bränslen</b>				
Kärnkraft	27000	400 <sup>2</sup>		1 600 MW 34 % verkningsgrad
Koleldade kondenskraftverk Konventionella	15 000	450		400 MW, För dagens svenska förhållanden
Med CCS	20 000	600		400 MW, För dagens svenska förhållanden
Gasturbiner i kombikraftvärmeverk	7300-9100	550 - 650		150 resp. 40 MW el
<b>Elproduktion från förnybara bränslen</b>				
Biomasse- KVV	28 000	800		30 MW el, Starkt storleksberoende
Biomassa IGCC	40 000-50 000	1200	25 -30-000	Elprod.kostn kan minska till 800 Kr/MWh
Förgasning och gasmotor för biomassa	40 000- 50 000	1 400	30 000	Elprod.kostn kan minska till 900 Kr/MWh
Vindkraft				
Landbaserad	11 000-12 500	500-550	Minskar	5x0,85 resp. 20x2 MW
Havsbaserad	21 200-23 200	750-800	Minskar	50x3 resp. 150x5 MW
Vågkraft	-	-	I paritet med vindkraft	Enbart prototypanläggningar
Solceller	50 000	~5 000 <sup>3</sup>	Minskar	5 000 kr/kW är EU mål för 2050
<b>Övrig elproduktion</b>				
Bränsleceller	35 000	>1 000	3 000-9-000	
ORC	40 000 <sup>4</sup>	500 – 1 000	Minskar	2 MW el, biobränslebaserad anläggning

<sup>1</sup> 6 % real ränta, 20 års ekonomisk livslängd, kondenskraft 6000 timmar/år, kraftvärme 4500 timmar/år, 75 SEK/MWh stenkol, 250 SEK/MWh naturgas, 170 SEK/MWh biobränsle, fjärrvärmekreditering 180 SEK/MWh fjärrvärme.

<sup>2</sup> 8000 timmar/år, 40 år.

<sup>3</sup> Om solcellen producerar ca 900 kWh/installerad kW peak och år.

<sup>4</sup> Varav ORC-modulen 15 000 – 25 000 kr/KW el.

Figur 2. Jämförelse av kostnader för olika elproduktionstekniker

# 5. Teknikområden av särskild betydelse för vägval

*I följande kapitel beskrivs utvecklingen inom några särskilt viktiga områden: kärnkraft, elnät, elfordon, avskiljning och lagring av koldioxid samt biodrivmedel. För att Sverige ska kunna nå EUs klimat- och energimål till år 2020, krävs inom den närmaste framtiden ett antal avgörande politiska beslut på dessa områden.*

## Kärnkraft

### Bakgrund

Kärnkraft har under mer än två decennier stått för omkring hälften av Sveriges elproduktion. De tolv kärnkraftreaktorer som sattes i drift mellan 1972 och 1985 har lett till en betydande minskning av Sveriges koldioxidutsläpp. Efter stängningen av Barsebäck har Sverige tio reaktorer i drift. Investeringar har gjorts för att höja effekten i de kvarvarande reaktorerna och ytterligare effekthöjningar planeras. Tillsammans kommer investeringarna att öka elproduktionen från svensk kärnkraft med cirka 8 TWh på årsbasis.

Livslängden för kommersiella kärnkraftverk varierar och beror på typ av reaktor och driftshistoria. Planering sker nu för att möjliggöra drift av de svenska reaktorerna i 50 år. I dag finns dock kunskap om hur alla väsentliga delar i ett kärnkraftverk kan bytas, varför även 60 års livslängd är realistiskt för flertalet svenska reaktorer.<sup>10</sup> För två av de äldsta reaktorerna kommer det dock sannolikt att vara rationellt att avveckla efter cirka 50 års drift, det vill säga under perioden 2020-2025. Följden skulle bli ett bortfall av elproduktion på 8-9 TWh per år.

### Generationer av reaktortyper

I takt med utvecklingen av kärnkraftstekniken kommer nya generationer av reaktorer. De första kärnkraftsreaktorerna i världen, byggda under 1950- och 60-talen, tillhörde generation I. Dagens svenska reaktorer tillhör generation II. Generation III-reaktorer utvecklades efter Harrisburgolyckan och är utrustade med extra säkerhetsåtgärder. Om reaktorn dessutom har passiva säkerhetsmekanismer inbyggda, som kraftigt reducerar sannolikheten för härdsmläta och radioaktiva utsläpp, benämns reaktorn generation III+. Begreppet Gen IV omfattar flera reaktortyper, bland annat gaskylid snabb reaktor (GFR), blykylid snabb reaktor (LFR), reaktor med flytande bränsle (MSR), och högtemperaturreaktor (VHTR)

### Teknikutveckling

Nuvarande reaktortyper är baserade på en relativt sett ung teknologi. Betydande utveckling pågår internationellt för att ta fram än mer driftsäkra och ekonomiskt konkurrenskraftiga reaktorkoncept. IEA bedömer att så kallade generation III-reaktorer är kommersiellt tillgängliga idag, och att generation III+ kan vara kommersiellt tillgängliga år 2025.<sup>11</sup> Redan idag offereras dock flera reaktortyper med inbyggda passiva säkerhetssystem, och några offerter har lett till preliminära beställningar i USA.<sup>12</sup> Omkring år 2045 bedömer IEA

<sup>10</sup> Energimyndigheten räknar i sin långsiktsprogno 2006 med 60 års livslängd. Det är också den livslängd som Profu har använt i sina analyser (som redovisas i avsnitt 2).

<sup>11</sup> Energy Technology Perspectives 2008, IEA

<sup>12</sup> Westinghouses API000-reaktor är under uppförande i Kina.

att nästa utvecklingssteg, generation IV-reaktorer, skulle kunna vara i kommersiell implementering. Dessa reaktortyper kommer att utnyttja energiinnehållet i bränslet mycket effektivare än dagens reaktorer, vilket skulle göra kärnkraften uthållig under mycket lång tid vad gäller tillgång på bränsle.

### Vägvalsfrågor

Kärnkraftens utveckling i Sverige är i hög grad beroende av följande punkter:

- Effekthöjning i existerande reaktorer.
- Planerade investeringar för ökad livslängd.
- Val som görs då nuvarande reaktorer fasas ut till följd av åldersskäl.

En viktig vägvalsfråga i närtid är om det skall bli tillåtet att ersätta befintliga reaktorer med ny kärnkraft. Som beskrivits ovan kan det bli aktuellt att stänga två reaktorer under perioden 2020-2025. Om detta bortfall av elproduktion ska kunna ersättas av ny kärnkraft, måste planering och resursuppbyggnad påbörjas tämligen omgående för att möjliggöra byggstart omkring 2015. Enligt nuvarande lagstiftning är dock ny kärnkraft inte tillåtet i Sverige.

Frågan om och i vilken utsträckning Sverige skall ersätta nuvarande kärnkraftsreaktorer med ny kärnkraft, blir givetvis än mer väsentlig när livslängden för den nuvarande kärnkraften närmar sig sitt slut. Eftersom bortfallet av kärnkraftanläggningar kommer relativt tätt under åren 2035-2045 finns det goda skäl att hålla optionen med ny kärnkraft öppen. Detta fordrar en ändring av lagstiftningen, så att kraftföretag kan planera för investeringar och säkerhetsmyndigheter kan göra sina förberedelser.

Att ersätta ett större bortfall av elkapacitet, som kärnkraft, med exempelvis vindkraft skulle kräva stora kompletterande investeringar i elnät och i så kallad reglerkraft (se följande avsnitt, ”Elnät och vindkraft”).

Kompetens inom kärnkraftteknik kan vara en blivande bristvara, både i Sverige och inom Europa. EU har för närvarande ett projekt om hur dessa brister skall undanröjas. Svenskt Kärntekniskt Centrum, som stöder forskning vid KTH, Chalmers och Uppsala Universitet, har från och med 2008 finansiering med drygt hundra miljoner kronor från kraftföretag och myndigheter för ett sexårigt program om kärnkraftteknisk forskning

och utbildning. I forskningspropositionen föreslog regeringen ökade satsningar på ny kärnkraft.

### Slutsatser

Eventuellt kan två reaktorer komma att avvecklas av ekonomiska skäl redan i början av 2020-talet. Nuvarande lagstiftning om förbud för ny kärnkraft måste ändras mycket snart om det skall bli möjligt att ersätta dessa reaktorer med ny kärnkraft.

Resterande kärnkraftverk faller för ett sextioårigt åldersstreck i perioden 2035-2045. Startsträckan för avvecklingen är lång och viktiga beslut, exempelvis inriktningen av forskning på energiområdet, behöver därför fattas redan under de närmaste åren.

## Elnäten

### Bakgrund

De svenska kraftnäten, det vill säga stamnätet för långväga elöverföring samt regionnät och lokalnät för detaljdistribution till kund, har successivt under 1900-talet byggts upp till en omfattande och väsentlig infrastruktur. Svensk industri har gjort betydande insatser, särskilt inom överföringstekniken för högspänd växelström (HVAC) och högspänd likström (HVDC), vilket också lett till exportframgångar. Norden och Sverige var pionjärer även då det gäller samkörning av kraftnät nationellt och internationellt.

Det svenska stamnätet är starkt, liksom förbindelserna mellan de nordiska länderna och kontinenten. Ledningarna till de nordiska grannländerna har idag en kapacitet på omkring 8 800 MW, vilket motsvarar cirka trettio procent av den svenska produktionskapaciteten. Överföringskapaciteten till andra länder ligger alltså över tio procent av produktionskapaciteten, vilket av EU slagits fast som minimikrav för en fungerande mellanstatlig

### Ansvar för elnäten

Affärsverket Svenska kraftnät ansvarar för stamnätet och ett hundratal nätbolag svarar för övriga nät. Även efter avregleringen av elmarknaden är näten monopolverksamhet som bedrivs med koncessioner. Energimarknadsinspektionen övervakar all nätverksamhet och utövar tillsyn över nätagifter och övriga villkor.

elhandel. Nuvärdet av näten beräknas till mer än tvåhundra miljarder kronor. Som en jämförelse kan nämnas att elleverantörernas branschorganisation Svensk Energi har uppskattat de samlade investeringsbehoven i näten till hundra miljarder kronor för perioden 2009-2018.

## Utmaningar

För att elkraftsystemet skall kunna utvecklas under perioden 2012-2025 och till slut fungera in mot 2030-talet, bör ett antal beslut fattas under de närmaste fem åren (ett stort sådant beslut fattades 2007, att bygga SydVästlänken med mål om driftsättning år 2013). Elnäten står inför nya utmaningar både i Sverige och internationellt:

- Elnäten på många håll i världen närmar sig maxgränsen för överföringskapacitet och livslängder för nyckelkomponenter. Det finns stora "underhållsberg". Den internationella marknaden för apparater och system för elnät är stor och växande.
- Kraven på leveranssäkerhet och spänningskvalitet ökar. Det beror till exempel på den ökande användningen av informations- och kommunikationsteknik inom såväl näringsliv och hushåll som i stads- och på landsbygd.
- Elnäten ska kunna hantera större flöden av förnybar energi såväl inom som mellan länder, om EUs förnybarhetsmål ska kunna uppnås. Detta kräver förstärkningar av näten inom länder och fler förbindelser mellan länder (detsamma gäller också på grund av utvecklingen mot en gemensam europeisk elmarknad).
- Integrationen till större sammanhängande elnät i Europa leder till nya frågor om säker drift av kraftsystem och hur man undviker att en störning sprider sig över större geografiska områden. Även om Sverige uppfyller EUs krav på utlandsförbindelser, är Nordens totala export- och importmöjligheter till och från kontinenten inte tillräckliga för att medge obehindrad export av ett förväntat elöverskott. Förstärkta förbindelser mellan länder ökar generellt sett nätens tålighet mot störningar. Att allt högre elflöden transporteras innebär givetvis större konsekvenser om de avbryts i samband med störningar. Nya övergri-

pande systemskydd behöver därför införas i de gränsöverskridande elnäten. En stor europeisk fråga är också hur man skall fördela ledig överföringskapacitet i en bristsituation.

- Ett ökande inslag av kraftelektronik i kundanläggningar leder till återverkningar på näten. Det kan till exempel ske genom så kallade övertoner som ger ökade förluster, hindrar kommunikation över elnät och minskar överföringskapaciteten.

## Långa tillståndsprocesser

För att driva elnät krävs koncession som delas ut av Energimarknadsinspektionen. För att erhålla en ledningskoncession krävs ofta en prövning enligt både miljöbalk och plan- och bygglagen. För en stamnätsledning kan denna process ta 5-7 år, inklusive överklaganden. Byggtiden för stora byggen kan i allmänhet klaras på 2-3 år.

## Teknikutveckling

Sverige är en ledande elnättnation. Utvecklingstakten för elkraftteknik är fortsatt hög. Alla led i kedjan utvecklas, både apparat- och systemfunktioner. Utvecklingen har varit snabb under de senaste åren. Sedan ABB:s första så kallade HVDC Light-förbindelse togs i drift på Gotland år 2000 har kablarnas överföringskapacitet 20-faldigats.

Utvecklingen på IT-området<sup>13</sup> öppnar möjligheter att kontrollera nätens kraftflöden och för en rad smarta applikationer.<sup>14</sup> På lång sikt, kanske tio år eller mer, skulle IT kunna ge en rad nya funktioner till elnäten:

- Bättre drift och hantering av störningar och fellokalisering.
- Integration av förnybar energi, vilket lätt leder till variationer i kraftflöden, samt distribuerad produktion av olika slag och så kallade mikronät.
- Underlätta kundkommunikation och kunders marknadsagerande samt elhandel i allmänhet.
- Integration av ny teknik, exempelvis laddhybrider, ellagring och smarta belastningar. Det ger effektiva resurser för att nå balansreglering i syfte att bättre hantera en ökande förnybar elproduktion.
- Reglering mot annan produktion, till exempel vid bortfall av elproduktion, vilket minskar behovet av reserver i elproduktionssystemen.

<sup>13</sup> På engelska används begreppet ICT för Information and Communication Technology, vilket egentligen är mer adekvat i detta sammanhang. Vi har dock hållit oss till det gängse språkbruket på svenska, dvs. IT.

<sup>14</sup> EU har lanserat begreppet "smart grid", för att få fram ett utvecklingsprogram av nya moderna elnät. Smart grid har blivit ett begrepp som dock saknar en entydig gemensam definition.

### Elnät och vindkraft

Sverige har en stor vindkraftpotential och vindkraften kan bli ett viktigt inslag i det nordiska energisystemet, något som bland annat Profus analys visar (se kapitel 2).

Vindkraftparker får i allmänhet egna uppsamlingsnät, men de befintliga lokala näten behöver ofta förstärkas för att kunna ta emot vindkraft. Här är stamnätet den kritiska faktorn. Om ny vindkraft byggs i norra Skandinavien måste kraften föras söderut. Det betyder krav på ökad ledningskapacitet. Dessa krav adderar delvis till de krav på reglerkraft, som kan behöva transporteras för att med befintlig vattenkraft utjämna vindkraftvariationer i söder. Skulle en effektutbyggnad av vattenkraft bli aktuell, ökar kapacitetskraven på stamnätet ytterligare.

De sammanlagda, planerade tillskotten av vind- och kärnkraft fram till 2020, innebär dessutom att utbudet på den nordiska elmarknaden blir större än efterfrågan. Om inte den utbyggda – koldioxidfria – kraften tidvis skall stå oanvänd, behövs nya utlandsförbindelser.

### Elnät, vindkraft och kärnkraft

Framtiden för svensk kärnkraft, och tillgång till de 70 TWh el som kärnkraften ger, har stor betydelse om vindkraften byggs ut. Om nuvarande kärnkraft ska ersättas, med någon annan elproduktion än dagens kärnkraftsreaktorer med nuvarande lokalisering, krävs en massiv nätförstärkning. Detta, tillsammans med den förstärkning av näten som krävs för en utbyggnad av vindkraften, utgör en stor utmaning för stamnätet.

### Lokal elproduktion ger nya flöden

Kundnära elproduktion är på frammarsch. Lokal, småskalig vind- och vattenkraft samt elproduktion från solceller kan komma att leverera både el till hushållen och ett överskott till nätet. Det innebär att kraftflödena i näten kommer att skifta riktning med kort varsel.

Lokal elproduktion, i kombination med andra framtida förändringar som storskalig introduktion av el- och hybridbilar, skulle dessutom kunna ge möjligheter att utjämna fluktuerande produktion genom att antingen ladda eller lämna el till nätet för kortare eller längre tid. Även värmepumpar kan komma att styras av ett framtida smart elnät. Kraftflödena på nätet blir då än mer komplexa och det leder till att nya styr- och övervakningssystem måste utvecklas för lokalnäten.

### Strategiska överväganden

Svenska elnät står inför mycket svåra utmaningar. Den svåraste handlar om att bygga ut cirka 12 000 MW ny vindkraft till 2020, vilket skulle krävas om planeringsmålet på 30 TWh ska uppnås.

Hur mycket starkare nät som behövs beror på en rad faktorer, men inom några år är investeringar i nivån 10-15 miljarder kronor per år troliga. Detta ställer stora krav på beslutsfattare, forskare, kraftföretag, tillståndsmyndigheter, industri och högskolor.

Den storskaliga introduktionen av vindkraft, och annan förnyelsebar elproduktion, ställer som tidigare nämnts nya funktionskrav på näten. Risken för störningar och avbrott ökar. Det krävs därför en utvecklad övervakning av näten och kanske ett nytt systemtänkande, som kan driva intressant teknikutveckling, till exempel av smarta nät.

### Våra förslag

- Upprätta snarast en långsiktig plan för beslut om utbyggnad av elnäten. Färdigställ snarast en tidplan för de beslut och processer som måste drivas för att möjliggöra denna tidplan. De stora investeringarna ger ett gott tillfälle för svensk industri att utveckla ny teknik och nya systemlösningar.
- Utlandsförbindelserna behöver ökas. Annars läses kraft in i Norden när de satsningar på ny elproduktion, som nu planeras är genomförda. En gemensam plan för Norden bör tas fram.
- Integrera de europeiska elnäten och planerad havsbaserad vindkraft. EU har nyligen lagt fram en så kallad grönbok för havsbaserad vindkraft. I den pekas bland annat på behoven att sammanlänka nationella elnät i nordvästra Europa och ansluta de talrika planerade projekten för havsbaserad vindkraft. Det krävs ett politiskt initiativ för att ge Sverige en stark ställning i detta arbete.
- Genomför en utvärdering av hur värdet av den svenska vattenkraften bäst bör tas till vara. Elsystemet måste klara större variationer. Svensk vattenkraft har betydelse, även för utländska marknadens reglering av sin vindkraft.
- Initiera ett elkrafttekniskt forskningspaket. Paketet bör inkludera såväl forskning och utveckling, som demonstrationer och spridning av ny teknik.

Därför måste statliga intressen samverka med kommersiella intressenter i elkraftsektorn. Som en del av detta bör en särskild industriekonomisk studie genomföras för att konkretisera lämpliga initiativ för rätt industriella satsningar.

- Öka nätföretagens incitament att driva en teknikutveckling som gör näten verkligt smarta. Regionnätens åldersstruktur inger oro vad gäller den långsiktiga driftsäkerhetens utveckling.
- Nuvarande lagstiftning om det elektriska säkerhetsansvaret kan behöva ses över. Framtiden kommer att se fler kundägda produktionsanläggningar med tillhörande lokala nät.

## Laddhybrider och elbilar

Laddhybrider och elbilar har en mycket stor potential att minska transportsektorns oljeförbrukning och utsläpp av koldioxid, samt att radikalt minska energianvändningen för transporter<sup>15</sup>. Liksom vanliga förbränningsmotorer kan laddhybrider även möjliggöra användning av alternativa drivmedel. Batteriutvecklingen är en nyckelfråga. Stora resurser spenderas i Japan, Kina och USA på forskning och utveckling. Krisen inom den internationella bilindustrin gör att satsningar på hybridisering, laddhybrider och elbilar, från att ha varit lågt prioriterade, nu ses som en överlevnadsfråga.

### Konsekvenser för elsystemet

Även en mycket kraftig introduktion av laddhybrider och elbilar påverkar det svenska elsystemet relativt marginellt. Att konvertera hela personbilsparken till laddhybrider skulle innebära en ökning av elbehovet med 10 TWh – vilket kan jämföras med nuvarande svenska eltillförsel på totalt cirka 150 TWh. För de 600 000 fordon, som föreslås i Vägval energi-rapporten från Energianvändargruppen, skulle elbehovet bli 1,5 TWh. Även i ett elsystem med ökande andel förnybar elproduktion passar laddhybrider bra.

Effekttopparna till följd av samtidig laddning av laddhybrider och elbilar är vanligtvis inget problem. Det kan dock finnas behov av nätförstärkningar i vissa lokala elnät eller att lasten styrs de kallaste vinterdagarna. Effektbehovet från en laddning av en laddhybrid eller elbil vid långsam laddning via ett eluttag med 10A och 230V kan jämföras med effektbehovet för en tvätt- eller diskmaskin.<sup>16</sup>

Det saknas dock eluttag för att ladda fordonen på många ställen. Infrastrukturen måste därför byggas ut i takt med att fordonen introduceras. Studier från USA pekar på att eldrivna fordon i genomsnitt kommer att kräva 1,7 laddningsställen. Det är en uppgift för många parter att medverka till att infrastrukturen för laddning byggs ut.

## Avskiljning och lagring av koldioxid

Det finns en stor internationell tilltro till möjligheten att avskilja och lagra koldioxid, så kallad CCS-teknik (carbon capture and storage), som en viktig möjlighet att kraftigt minska utsläppen av koldioxid. EU har nyligen röstat igenom två direktiv som möjliggör och stimulerar införandet av CCS. Det ena direktivet innebär att CCS inkluderas i handeln med utsläppsrätter medan det andra direktivet ger ett juridiskt ramverk för CCS. Direktiven ska nu implementeras i medlemsländerna<sup>17</sup>.

### Teknikutveckling

CCS ägnas för närvarande många studier, både internationellt och i Sverige. Vattenfall har tagit i drift en stor pilotanläggning i Schwarze Pumpe i Tyskland, Fortum har utfört tester i Värtaverket medan E.ON studerar möjligheterna i en mindre pilotanläggning vid Karlshamnsverket. Forskning vid Chalmers ligger också långt framme vad avser tekniker för avskiljning.

Fokus för arbeten om CCS har länge varit avskiljning och lagring av koldioxid från fossil för-

<sup>15</sup> Laddhybrider och elfordon behandlas mer utförligt i rapporten från Energianvändargruppen inom Vägval energi.

<sup>16</sup> Långsam laddning av ett 10 kWh batteri tar cirka fem timmar. Halvsnabb laddning sker på strax över en timme. Snabbladdning vid höga effekter kan ske på cirka tio minuter.

<sup>17</sup> Parlamentet godkände i sin första läsning :European Parliament legislative resolution of 17 December 2008 on the proposal for a directive of the European Parliament and of the Council on the geological storage of carbon dioxide and amending Council Directives 85/337/EEC, 96/61/EC, Directives 2000/60/EC, 2001/80/EC, 2004/35/EC, 2006/12/EC and Regulation (EC) No 1013/2006 (COM(2008)0018 – C6-0040/2008 – 2008/0015(COD))

bränning i kraftverk. På senare tid har rapporter från IEA och ÅF även studerat möjligheten att införa tekniken vid stora punktkällor inom industrin och även inkluderat växthusgasutsläpp av biologiskt ursprung från massa- och pappersindustrin.

### **CCS kan få direkt och indirekt betydelse för Sverige**

I Profus analyser, som utgår från EU-målen om förnybar energi och koldioxidutsläpp, är CCS inget alternativ för kraftverk i det stationära energisystemet i Sverige, (om kärnkraften behålls). Det är ändå viktigt att Sverige deltar i utvecklingen, dels för att kunna bedöma teknikens konsekvenser för Sverige, dels för att bedöma dess användbarhet och säkerhet på längre sikt.

Avskiljning och lagring av koldioxid kan komma att få betydelse för Sverige på flera sätt:

- Ett genomslag för CCS vid kraftverk i Europa påverkar de europeiska energimarknaderna, speciellt elmarknaderna samt utsläppshandeln och får därmed betydelse för Sverige.
- Möjligheterna för CCS är av intresse för svensk energiintensiv industri.

### **EUs syn på CCS**

EU tillmäter i sitt energi- och klimatpolitiska program stora möjligheter för CCS vid kraftverk. Tekniken skulle inte bara kunna minska koldioxidutsläpp, den skulle även kunna öka försörjningstryggheten på energi, genom att göra förbränning av Europas rika koltillgångar mer miljömässigt acceptabla och minska importbehoven av naturgas. Inom EU planeras under de närmaste sju åren 12 demonstrationsanläggningar där CCS-teknik appliceras på kraftverk.<sup>18</sup> Nyligen antogs ett stöd för detta, omfattande 300 miljoner utsläppsrätter för att ge till demonstrationsanläggningarnas ägare (till ett värde av 5-10 miljarder euro).

### **CCS för energiintensiv industri**

En kartläggning från ÅF av industrins punktutsläpp av koldioxid visar att Sverige 2006 hade 14 utsläppskällor som släpper ut över en miljon ton

koldioxidekvivalenter per år. De sammanlagda utsläppen för de fjorton utsläppskällorna uppgick till totalt 23 miljoner ton koldioxidekvivalenter. Av dessa kommer de största från Sveriges två stålverk. Övriga punktutsläpp härrör från cement- och raffinaderiindustrin, energisektorn samt nio punktutsläpp från den svenska massaindustrin.

### **Möjligheter att lagra koldioxid**

Lagringsmöjligheterna är en grundläggande fråga för tekniken. Potentiell kapacitet och lokalisering av lagringsplatser utreds i hela Europa. Den totala potentialen i Europa är stor och mer än tillräcklig för många decenniers demonstration och fullskalig tillämpning av tekniken. I Sverige finns möjligheterna väsentligen i sydvästra Skåne och möjligtvis i vattnen söder och öster om Gotland.

### **Framtidsutsikter i Sverige**

CCS-anläggningar blir givetvis inte ekonomiskt bärkraftiga förrän driftkostnaderna är i paritet med priset på utsläppsrätter, vilket om 10-15 år bedöms ligga i intervallet 30-50 euro per ton koldioxid. CCS-tekniken vid kraftverk kommer att behöva demonstreras under en period från omkring 2015 till 2020. Först efter detta bedöms tekniken bli lönsam. Industriella anläggningar i Sverige skulle också kunna bli kommersiellt aktuella för CCS, men de är ofta mindre än hälften så stora som kontinentens stora punktutsläpp och skulle dessutom kräva långa transporter av avskild koldioxid till olika lagringsplatser. Störst möjlighet att använda CCS-teknik torde finnas hos några kluster av industrier i södra och västra Sverige, som eventuellt skulle kunna anslutas till potentiella lagringsplatser i Skåne eller Danmark. En annan möjlighet är att bygga en gemensam infrastruktur för lagring i södra Östersjön. En nyligen publicerad utredning har indikerat att koldioxidlagring här skulle kunna bli en möjlighet – det krävs dock mer geologisk information innan detta kan fastslås.<sup>19</sup> En sådan infrastruktur skulle också kunna utnyttjas av flera länder i Östersjöregionen.

Merparten av koldioxiden från de stora svenska punktutsläppen är av biologiskt ursprung. Det

<sup>18</sup> EU-parlamentet ställde sig i slutet av november 2008 bakom en rapport framtagen av en rapportör inom parlamentet "calling for prompt direct financial commitment for twelve demonstration plants for carbon capture and storage with a minimum output of 180 MW".

<sup>19</sup> Lagring av koldioxid i djupa akvifärer – Lagringsmöjligheter i Sverige och Danmark, Elforsk Rapport 08:84, december 2008.

skiljer Sverige från de flesta andra länder med bindande klimatåtaganden. För att möjliggöra metodens fulla potential i Sverige krävs därför ett regelverk som ger ekonomiska incitament för avskiljning och lagring av koldioxid, oavsett utsläppen är av biologiskt eller fossilt ursprung.

### Osäkerheter

De viktigaste osäkerheterna i perspektivet fram till 2020 är:

- Hur fort demonstrationsanläggningar kommer till stånd.
- Hur finansieringen av demonstrationsanläggningar kan lösas, med tanke på dagens stora skillnad i kostnad mellan CCS och priset på utsläppsrätter.

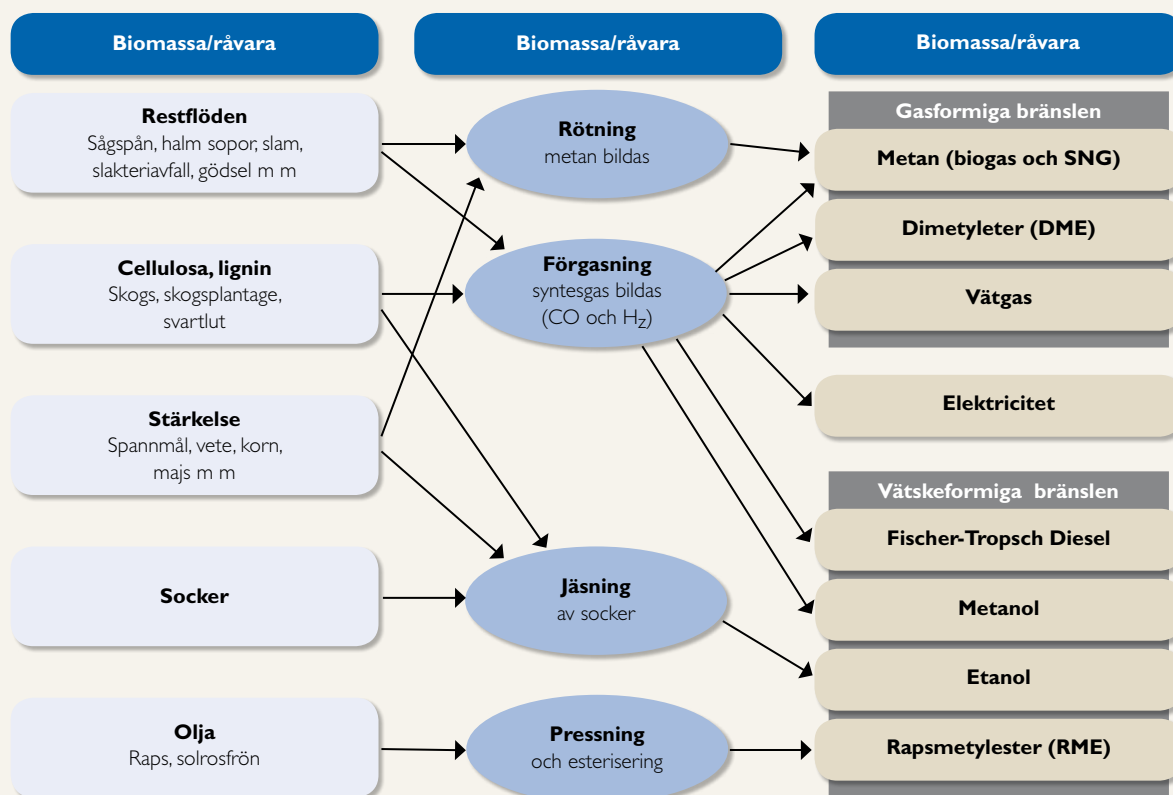
I det längre perspektivet, när tekniken ska kommersialiseras även i Sverige, tillkommer ytterligare osäkerheter. Det handlar framför allt om incitament för att avskilja och lagra utsläpp av koldioxid med biologiskt ursprung.

## Biodrivmedel

### Några viktiga begrepp

- *Första generationens biodrivmedel* har som råvaror växter från vilka man kan utvinna socker, stärkelse eller oljor. Råvarorna omvandlas till bränslen, exempelvis etanol, biodiesel eller så kallad pure plant oil (PPO). Även biogas baserat på rötning av organiskt avfall och avloppsslam räknas till första generationens biodrivmedel.
- *Andra generationens biodrivmedel*, språkbruket varierar något, brukar avse det som produceras ur cellulosa, hemicellulosa eller lignin. Råvarorna för att producera andra generationens biodrivmedel är betydligt fler jämfört med första generationens biodrivmedel. Dels tack vare möjligheten att använda biomassa från växter och växtdelar som inte används för livsmedelsproduktion, dels genom möjligheten att använda industriella restprodukter från jordbruk (halm, majsblast) eller skogsbruk (skogsrester).

Figur 3.  
Schematisk bild av produktion av olika biodrivmedel från råvara till energibärande



- *Syntetiska biodrivmedel* är andra generationens biodrivmedel som syntetiseras från den gas som erhålls vid förgasning av biomassa. Syntetiska biodrivmedel är till exempel:
  - Bränslen för diesel- och bensinmotorer tillverkade via den så kallade Fischer-Tropsch-metoden. Dessa bränslen kallas ibland BTL-bränslen (biomass to liquids).
  - Syntetisk naturgas, producerad genom termokemiska processer.
  - Dimetyleter (DME), ett gasformigt bränsle för dieselmotorer.
  - Metanol.
- *Biofuels* avser vanligtvis gasformiga eller flytande bränslen som baseras på bioråvaror och används i transportsektorn.
- Ett *bioraffinaderi* avser en eller flera anläggningar som kombinerar biomassabaserad energiproduktion samt produktion av material och biokemikalier och/eller bränsleprodukter. Materialprodukterna kan vara fiberbaserade, exempelvis timmer, pappersmassa och papper, alternativt bioplaster. Exempel på biokemikalier är bulkpolymerer och baskemikalier för industriella processer.

### Första och andra generationens biodrivmedel

Både första och andra generationens biodrivmedel kan distribueras genom existerande infrastruktur. De kan båda blandas med petroleumbaserade bränslen och användas i så kallade flexifuel-fordon – vissa av andra generationens bränslen, DME och metanol, kräver dock särskilt utrustade fordon.

Andra generationens biodrivmedel utvecklas därför att första generationens har viktiga begränsningar. En sådan begränsning är att råvarorna för första generationens biodrivmedel i de flesta fall även används som föda eller består av födoämnesrester. Därför skapas konkurrens om tillgänglig markyta. Stor användning av första generationen biodrivmedel hotar födoämnesproduktion och/eller biologiskt mångfald.

Första generationens biodrivmedel är utan subventioner sällan konkurrenskraftiga med existerande petroleumbränslen, möjligen med undan-

tag av etanol från sockerrör men det beror på aktuella prisnivåer. Livscykelanalyser visar att första generationens biodrivmedel är starkt beroende av fossilt baserade insatsvaror, exempelvis gödsel och transporter, och att de ger endast begränsade nettominuskningar av koldioxidutsläpp. Andra generationens biodrivmedel kan undvika båda dessa hinder och leverera en större andel av bränsletillförseln på ett uthålligt och mera ekonomiskt sätt och med större miljöfördelar.

### Teknikutveckling

Tekniken för andra generationens biodrivmedel är ännu inte kommersiell men det finns många pilot- och demonstrationsanläggningar världen runt. IEA bedömer att kommersiell introduktion av andra generationens biodrivmedel kan börja omkring år 2020.

IEA ger, i sin rapport *Energy Technology Perspectives 2008*, biodrivmedel en stor roll för att minska koldioxidemissioner från transportsektorn. Användningen av första generationens etanol stagnerar efter 2030 och i ett globalt perspektiv kommer endast etanol som tillverkas från sockerrör att ha större betydelse. Det verkar vara lättare för personbilar och lätta lastbilar att ställa om till el- eller vätedrift än vad det är för tyngre fordon, fartyg och flygplan. På lång sikt, särskilt efter år 2030, kommer personbilar och lätta lastbilar sannolikt inte att vara så beroende av bio-bränslen för att minska sina koldioxidutsläpp.

Framställning av etanol från lignocellulosa når snart demonstrationfasen. Detsamma gäller produktionen av BTL-bränslen via Fischer-Tropsch-teknik. Kanske kan dessa båda bränslen inom några få år också produceras i stor skala, men teknikerna fordrar fortfarande grundläggande forskningsinsatser. IEA poängterar att betydande forskning krävs bland annat om biprodukterna från bioraffinaderier, vilka är väsentliga för systemens totalekonomi.<sup>20</sup>

I EUs sjunde ramprogram är andra generationens biodrivmedel och bioraffinaderier ett viktigt delområde. Flera demonstrationsprojekt förutses, särskilt om Fischer-Tropsch/BTL-bränslen. EUs drivmedelsdirektiv spelar stor roll i unionens energi- och miljöpolitik.

<sup>20</sup> Det kan vara av intresse att notera att de anläggningar för etanolframställning som byggdes i Sverige från mitten av 1980-talet, då etanol användes för inblandning i bensin, hade en ekonomi som grundades på direkta statliga stöd, jordbrukssektorns särskilda ekonomiska förhållanden och framställning av kommersiella biprodukter, exempelvis foderprotein.

I Sverige har forskning om förgasning av biomassa pågått sedan mitten av 1980-talet. I dag drivs, med stöd av Energimyndigheten, pilotprojekt om förgasning i Värnamo, etanolframställning ur cellulosa i Örnsköldsvik samt svartlutsförgasning i Piteå.

Energimyndigheten gick i december 2008 ut med en utlysning på 875 miljoner kronor. Målsättningen är att uppföra demonstrationsanläggningar av andra generationens biodrivmedel samt att demonstrera och kommersialisera annan energiteknik av stor nationell betydelse och med omfattande exportpotential. Några slutsatser om teknikutvecklingen:

- Att producera andra generationens biodrivmedel genom förgasning ger högre bränsleutbyte och en högre värdeförädling än jäsning (till etanol).
- Biprodukter, inklusive energi och värme, är av stor betydelse för hela systemets effektivitet och kostnader. Kombinat och kluster av flera anläggningar lokaliserade intill varandra är därför av avgörande betydelse.
- Avskiljning och lagring av koldioxid kan bli betydelsefull i framtiden. Större kombinat och geografiska kluster av anläggningar kan skapa tillräckliga skalförutsättningar för sådan teknik.

## Slutsatser

Introduktion av andra generationens biodrivmedel liksom av alternativa drivmedel i allmänhet, kommer att fordra politiska beslut av skilda slag under de närmaste åren, särskilt om styrmedel samt om forsknings- och demonstrationsstöd. En fullt ut kommersiell tillämpning av andra generationens biodrivmedel ligger bortom år 2020.

Andra generationens biodrivmedel kräver överväganden och beslut som rör tillgångarna på och konkurrensen om råvarorna. Konkurrens finns mellan energisektorn och andra industriella sektorer, särskilt skogsindustrin, men också inom energiområdet, det vill säga mellan el-, värme- och drivmedelsframställning. EUs 20-20-20-mål och drivmedelsdirektiv ökar konkurrensen om bioråvaror, visar Elforsk i en ny studie.<sup>21</sup>

I Sverige bedöms volymen trädbränslen öka någonstans i intervallet 20-50 TWh fram till år 2030. Teoretiskt skulle det räcka till 15-30 procent av drivmedelsbehovet (beroende på de totala systemutbytena). På europeisk nivå räcker dock biomassetillgångarna betydligt sämre. Om laddhybrider och elbilar får ett genombrott kan bristen på och konkurrensen om biomassetillgångarna minska väsentligt.

---

<sup>21</sup> Konsekvenser för energi- och skogssektorn av förändrad efterfrågan på biomassa, Elforsk, Rapport 08:60, 2008



# 6. Viktiga slutsatser och vägval de närmaste åren

*Under de närmaste åren förestår politiska beslut i Sverige och EU kring den närmare utformningen av EUs så kallade 20-20-20-mål och åtföljande EU-direktiv. Överläggningarna om ett nytt internationellt klimatavtal står för dörren. Vi har prioriterat de områden som kräver särskild uppmärksamhet.*

## **Forskning och utveckling nödvändig**

Teknisk och systemmässig utveckling inom många områden är ytterst väsentligt för att nå nuvarande och kommande mål. Det är därför viktigt att Sverige och industriländerna i allmänhet satsar kraftigt på forskning, utveckling, demonstration och tillämpning av ny teknik och nya system. Det gäller också de teknikområden, som i föreliggande rapport behandlas endast översiktligt eller inte alls. Det finns behov av både nysatsningar och fortsatta satsningar på lovande energiproduktionstekniker och energislag.

## **EU-målen konsekvenser måste belysas**

Om samtliga EU-mål ska uppnås blir koldioxidminskningen i det stationära nordiska energisystemet 40 procent, och inte 20 procent som stipuleras i målet. Kalkyler visar att av de tre målen är den samhällsekonomiska kostnaden störst för att nå effektiviseringsmålet, följt av förnybarhetsmålet och koldioxidmålet. En konsekvens av att nå effektiviseringsmålet blir att avveckling av kärnkraft skulle räknas som en lönsam effektiviseringsåtgärd. Det står i stark kontrast mot den nordiska kärnkraftens nuvarande stora betydelse för att hålla tillbaka ökningarna av koldioxidutsläppen.

Vi föreslår därför att en djupare analys av EU-målen konsekvenser genomförs. Nuvarande och kommande styrmedel i energipolitiken måste utformas för att uppnå dels högt ställda klimatmål till en rimlig kostnad dels försörjningstrygghet, samtidigt som möjligheter hålls öppna för framtida vägval.

## **Harmoniserade styrmedel och stabila spelregler**

Att nå målen kommer att kräva fortlöpande politiska beslut om styrmedel och incitament av olika slag, i syfte att få till stånd nya investeringar i energiproduktion och elnät. Det är viktigt att dessa åtgärder utformas så att de är effektiva för sina syften, internationellt harmoniserade och ger stabila spelregler för energisystemets alla aktörer. Investeringar i energisystem är långsiktiga och konsekvenserna av investeringsbeslut måste kunna överblickas för lång tid framåt.

## **Gemensamma certifikat inom EU**

Att nå EUs förnybarhetsmål kräver stora investeringar i elproduktionen i Norden, framför allt i vindkraft och biobränslebaserad el- och värmeproduktion. Vidare krävs stora investeringar för att hantera stora mängder vindkraft, i nationella elnät, särskilt i stamnätet, samt i utlandsförbindelserna. Förnybarhetsmålet medför ökade svenska exportmöjligheter för elkraft. Med dagens svenska certifikatsystem skulle dock ett framtida överskott på elproduktion komma till stånd genom subventioner, som svenska elkunder kommer att betala. För att få en rättvisare fördelning av den ekonomiska bördan, bör Sverige argumentera för ett EU-gemensamt certifikatsystem för förnyelsebar energi.

## **Snabbare tillståndsprocesser**

Tillståndsprocesser för anläggningar för energiproduktion och nät måste bli snabbare.

### **Plan för att förstärka elnäten**

Vi föreslår att en plan upprättas om hur elnäten bör förstärkas fram till år 2020. Vidare behövs en tidplan för de beslut och processer som krävs för att möjliggöra förstärkningen inom denna tidsrymd. De stora investeringarna ger ett gott tillfälle för svensk industri att utveckla ny teknik och nya systemlösningar. Vidare bör en gemensam plan för Norden tas fram rörande utlandsförbindelserna.

### **Håll dörren öppen för ny kärnkraft**

En viktig vägvalsfråga på kort sikt är om det i Sverige skall bli tillåtet att ersätta befintliga reaktorer med ny kärnkraft. Det kan bli aktuellt att stänga två block under perioden 2020-2025. Om detta bortfall av elproduktion ska kunna ersättas av investeringar i ny kärnkraft måste planering och resursuppbyggnad påbörjas omgående – för att möjliggöra byggstart omkring 2015. Eftersom bortfallet av kärnkraftanläggningar kommer relativt tätt under åren 2035-2045 finns det skäl att hålla optionen med ny kärnkraft öppen. Men för det fordras en ändring av lagstiftningen så att kraftföretag kan planera för investeringar och säkerhetsmyndigheter kan göra sina förberedelser.

### **Laddhybrider och elbilar**

Laddhybrider och elbilar ses alltmer som en väsentlig möjlighet att minska såväl koldioxidutsläpp som oljeförbrukning och energianvändning i transportsektorn. Energianvändargruppen föreslår att en nationell vision formuleras för Sverige. Denna innebär att Sverige har 600 000 laddhybrider och elbilar år 2020. Konsekvenserna för elproduktion och elnät i Sverige blir måttliga.

Vissa infrastrukturinvesteringar skulle krävas men skulle också skapa vissa möjligheter till energilagring i elsystemet.

### **Sverige bör fortsätta utveckla CCS-teknik**

Avskiljning och lagring av koldioxid, så kallad CCS-teknik, ses internationellt som en viktig möjlighet för de framtida energisystemen, vilket kan få både direkt och indirekt betydelse för Sverige. Genomslaget kan komma efter år 2020 och gäller i första hand kraftverk men CCS-teknik kan även få betydelse för stora punktutsläpp av koldioxid i energiintensiv industri. Det är viktigt att Sverige, svenska företag och högskolor, fortsätter sina insatser inom detta område för att kunna bedöma teknikens konsekvenser för Sverige och dess användbarhet och säkerhet på längre sikt.

### **Fortsatt stöd till biodrivmedel**

En utveckling från första generationens till andra generationens biodrivmedel pågår internationellt med syfte att dels minska konkurrensen om mark för matproduktion och dels för att öka effektiviteten i omvandlingen av energiråvara. Sverige gör redan nu stora insatser på detta område. Introduktion av andra generationens drivmedel liksom av alternativa drivmedel i allmänhet, kommer att fordra politiska beslut under de närmaste åren. Särskilt gäller det frågor om styrmedel samt forsknings- och demonstrationsstöd, även om en kommersiell tillämpning av andra generationens biodrivmedel ligger bortom 2020. Frågan om biobränselns klimatneutralitet är omdiskuterad och kräver ytterligare forskning.

# Bilaga

## Om projektet

### ARBETSGRUPPENS MEDLEMMAR:

*Lennart Billfalk*, (ordförande),

Vattenfall AB

*Lars Atterhem*, Skellefteå Kraft AB

*Monica Axell*, SP Sveriges Tekniska

Forskningsinstitut AB

*Gunnar A. Bengtsson*, Volvo AB

*Lina Bertling*, professor, Chalmers

*Harald Haegermark*, (projektledare),

CHH Consulting

*Bengt "Nippe" Hylander*, ÅF Process

*Stefan Jakélius*, Industrifonden

*Bengt Kasemo*, professor, Chalmers

*Erica Löfström*, Linköpings universitet

*Gustaf Löwenhielm*, Strålskyddsmyndigheten

*Stefan Montin*, Elforsk AB

*Lars Nielsen*, professor, Linköpings Universitet

*Bo Normark*, Power Circle

*Peter Roblin*, Energimyndigheten

*Maria Sandqvist*, Teknikföretagen

*Lars Strömberg*, Vattenfall AB

*Jan Wallenius*, professor, KTH

## Referenser

Calling for prompt direct financial commitment for twelve demonstration plants for carbon capture and storage with a minimum output of 180 MW, EU-parlamentet.

El från nya anläggningar, Elforsk, 2007.

Energieffektiviseringsutredningen, SOU 2008:110.

Energimyndighetens antagande om att nuvarande tio kärnkraftreaktorer finns kvar i drift till efter 2030.

Energy Technology Perspectives 2008 – Scenarios and Strategies to 2050, IEA.

European Parliament legislative resolution of 17 December 2008 on the proposal for a directive of the European Parliament and of the Council on the geological storage of carbon dioxide and amending Council Directives.

Konsekvensanalys av EUs 2020-mål En analys av konsekvenser med EUs klimat- och energipaket, det så kallade 20-20-20-målet, Profu.

Konsekvenser för energi- och skogssektorn av förändrad efterfrågan på biomassa, Elforsk, Rapport 08:60, 2008.

Kort historik om det svenska elsystemets framväxt och några framtidsfrågor, CHH Consulting

Lagring av koldioxid i djupa akviferer – Lagringsmöjligheter i Sverige och Danmark, Elforsk Rapport 08:84,2008.

Möjligheter för avskiljning och lagring av koldioxid i Sverige En studie av CCS för industri, ÅF.

Möjligheter och kostnader för minskning av växthusgaser i Sverige, McKinsey för Svenskt Näringsliv m fl, 2008.

Utveckling av ny elproduktionsteknik En översiktlig redogörelse för teknikutveckling, Vattenfall Research & Development.

Vägval för de svenska elkraftnäten – för säkra elleveranser också efter 2020 En studie av elnäten, Power Circle.

Vägval för framtidens energianvändning, IVA, Vägval energi.

# VÄGVAL FÖR FRAMTIDENS TEKNIKUTVECKLING

Under de närmaste åren förestår politiska beslut i Sverige och EU kring den närmare utformningen av EUs så kallade 20-20-20-mål och åtföljande EU-direktiv. Överläggningarna om ett nytt internationellt klimatavtal efter 2012 står för dörren.

För att nå målen behövs system- och teknikutveckling inom många områden. Rapporten ger en översiktlig analys av tekniska möjligheter men har särskilt betonat kärnkraftens framtida roll, kraven som ställs på elnäten, möjligheterna som finns i laddhybrider, avskiljning och lagring av koldioxid (CCS) samt andra generationens drivmedel som alla kräver politiska vägval och beslut under de närmaste åren.



KUNGL. INGENJÖRSVETENSKAPSÅKADEMIEN

Vägval energi finansieras av



Forskningsrådet för miljö, areella näringar  
och samhällsbyggande, Formas

ÅNGPANNEFÖRENINGENS  
FORSKNINGSSTIFTELSE

