

Ett underlag för Svensk Energis 2050-studie

## Scenarier för utvecklingen av el- och energisystemet till 2050

- resultat från modellkörningar med energisystemmodellen MARKAL-Nordic
- och andra kompletterande analyser

Juni 2010

Profu i Göteborg AB

### En vision om ett klimatneutralt Sverige

Världen, och särskilt den industrialiserade delen av världen, står inför stora krav på minskningar av växthusgasutsläpp. I Sverige har regeringen ställt ut en vision om ett klimatneutralt Sverige:

*"År 2050 har Sverige en hållbar och resurseffektiv energiförsörjning och inga netto-utsläpp av växthusgaser i atmosfären."*

### El spelar en viktig roll för att nå det klimatneutrala samhället

Klimatneutral el kommer att spela en avgörande viktig roll i omställningen av energisystemet och starkt bidra till att vi kan nå ett klimatneutralt samhälle år 2050. El kan till och med bli den allra viktigaste klimatåtgärden, både i Sverige och i EU.



Profu



## Sammanfattning

### **Koldioxidneutral el bidrar till det klimatneutrala samhället**

Världen, och särskilt den industrialiserade delen av världen, står inför stora krav på minskningar av växthusgasutsläpp. I Sverige har regeringen ställt ut en vision om ett klimatneutralt Sverige:

*”År 2050 har Sverige en hållbar och resurseffektiv energiförsörjning och inga nettoutsläpp av växthusgaser i atmosfären.”*

### **El är en hörnpelare för att nå det klimatneutrala samhället**

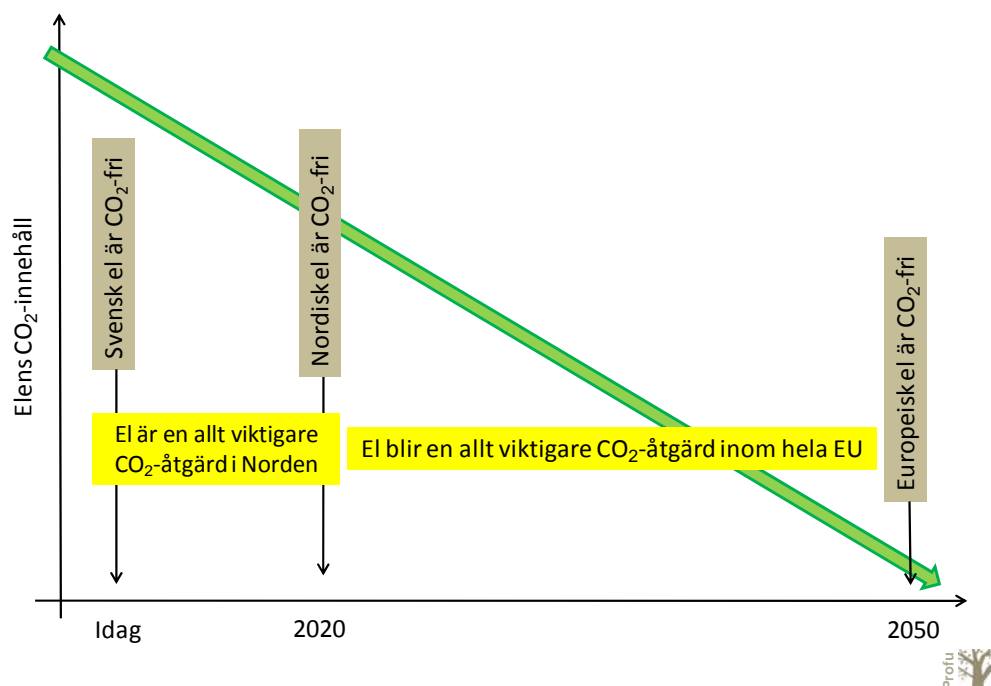
Koldioxidneutral el kommer att spela en avgörande viktig roll i omställningen av energisystemet och starkt bidra till att vi kan nå ett klimatneutralt samhälle år 2050. El kan till och med bli den allra viktigaste klimatåtgärden, både i Sverige och i EU.

### **Utsläppen av koldioxid är nära noll från svensk elproduktion redan idag, från nordisk år 2020 och från europeisk elproduktion år 2050**

Svensk elproduktion baseras i dagsläget till nästan 100 procent på CO<sub>2</sub>-fria kraftslag. Vattenkraft, kärnkraft, biobränslekraft och vindkraft dominerar svensk elproduktion. Svensk elproduktion är alltså i det närmaste koldioxidneutral redan idag.

Den nordiska elproduktionen är på god väg att bli koldioxidneutral. År 2020 är det rimligt att anta att det nordiska produktionssystemet kan förse hela Norden med koldioxidfri kraft. EU:s energi- och klimatpaket för år 2020, med tydliga mål för växthusgasreduktion, förnybar energi och energieffektivisering, gör omställningen av elsystemet i Norden till ett CO<sub>2</sub>-fritt nordiskt elsystem lönsam. Norden kommer därigenom att gå före resten av Europa i klimatarbetet.

Den europeiska elproduktionen har en bit kvar innan den är fri från utsläpp av koldioxid, men till år 2050 bedöms detta vara möjligt. Både EU och den europeiska elbranschorganisationen Eurelectric har det som mål.



*Schematisk figur av hur koldioxidinnehållet i europeisk el successivt reduceras ner till noll år 2050, och hur svensk och nordisk el går före. El blir samtidigt en viktig klimatåtgärd i Norden och i EU.*

## Ökad elanvändning en viktig förutsättning för ett klimatneutralt och energieffektivare Sverige och Europa

El har stora förutsättningar att bli en allt viktigare klimatåtgärd för att åstadkomma de utsläppsminskningar av växthusgaser som måste till. Genom en ökad användning av el i transportsektorn, industrin och uppvärmning sparas både energi och klimat.

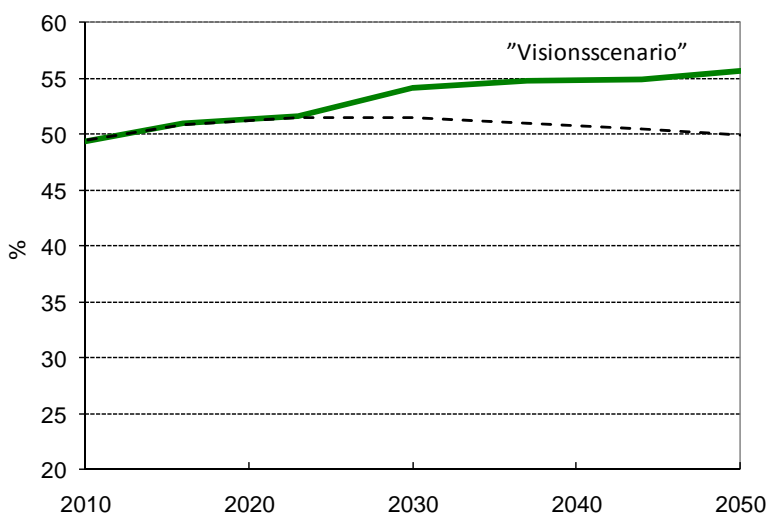
Skall vi nå klimatneutralitet är det viktigt att utnyttja våra resurser effektivt. Elsystemet ger möjlighet till det, förutsatt att elproduktionen görs koldioxidneutral. Även våra andra ledningsburna energiformer, fjärrvärme och gas, har dessa förutsättningar. Vår svenska fjärrvärme är, liksom vår svenska el, koldioxidmager redan idag. Med en allt större andel biogas i rören, har också gasen dessa möjligheter.

Klimatanalyser inom IPCC, EU och i nordiska/svenska forskningsprojekt visar att det krävs en mycket stor omställning av våra energisystem för att klara det tvågradersmål som IPCC satt upp. Samtidigt visar dessa analyser entydigt att el – som energibärare och infrastruktur – är central för att kunna nå målet. I allas analyser, globala, europeiska och nordiska/svenska, ökar elen sin betydelse i takt med att klimatmålen skärps. Elsystemen minskar sina utsläpp snabbare andra sektorer och elen kan då användas som en viktig åtgärd i klimatarbetet i dessa sektorer.

El kan alltså bidra till ökad klimatneutralitet på alla marknader, men det är särskilt inom industrin, i transportsektorn och på värmemarknaden som elen ökar sina marknadsandelar när vi gör analyser för Sverige och Norden. Därmed inte sagt att volymökningen av el på dessa marknader blir särskilt stor. Ellösningarna ger nämligen i många fall samtidigt en betydande energieffektivisering. Elfordon minskar energiåtgången per fordon med upp 60-70% och en värmepump ger en energibesparing i samma storleksordning. Men med klimatneutral el innebär ett byte till el från bensin, diesel eller eldningsolja en 100%-ig reduktion av koldioxidutsläppen. Därigenom kan el bli den allra viktigaste klimat- och effektiviseringsåtgärden, både i Sverige och i EU.

### Ökad marknadsandel för el i industri och byggnader

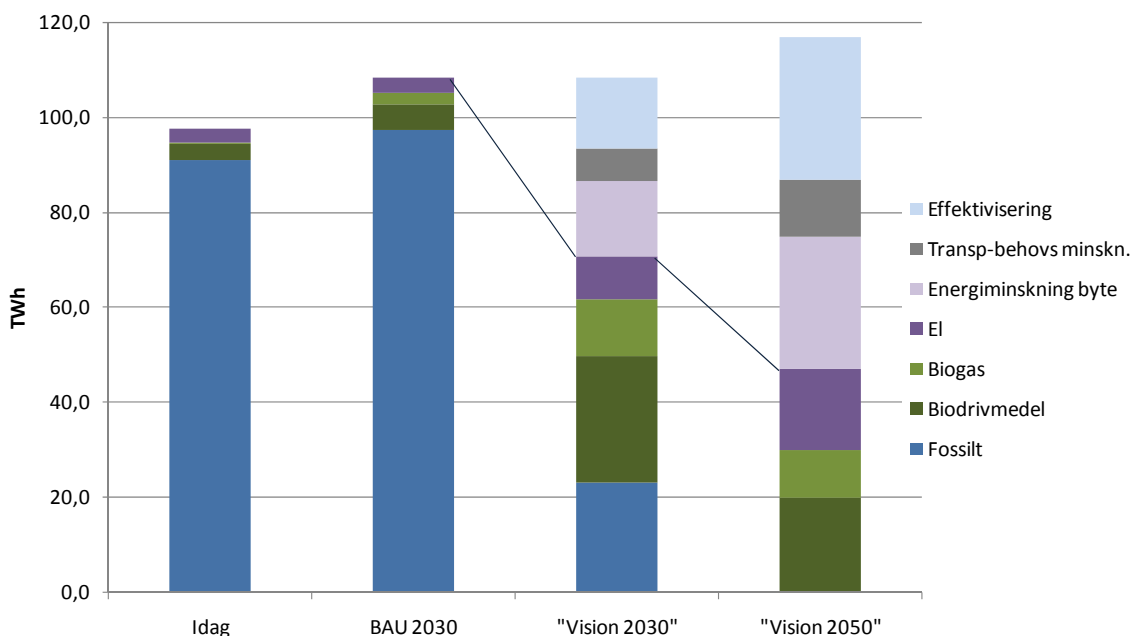
Analysen med energisystemmodellen MARKAL, visar att marknadsandelen för el i industri- och byggnadssektorernas energiomsättning ökar från dagens knappt 50% till över 55% år 2050 om klimatneutralitet blir ett mål nationellt och internationellt. Den största drivkraften för denna ökning är att el blir en kostnadseffektiv åtgärd i klimatarbetet. I ett referensscenario, utan ökande klimatambitioner (streckad linje i figuren till höger) ser vi inte samma ökning av marknadsandelen.



### Fossilbränsleoberoende transportsektor år 2030 och klimatneutral år 2050

Elbranschen vill också bidra i transportsektorns omställning och har formulerat en vision om en fossilbränsleoberoende transportsektor år 2030 och en klimatneutral transportsektor år 2050. Även om visionen har tagits fram inom elbranschen så är det inte endast elrelaterade trender och åtgärder som tas upp. Det är istället en heltäckande vision, där el är ett av många medel för att nå fram till visionen. Vi

sionen bygger på att ansträngningarna för effektivisering av fordonen och ansträngningarna att minska själva transportbehoven blir framgångsrika. Dessutom sker stora minskningar av användningen av fossila drivmedel genom byte till biodrivmedel och el samt genom byte av transportslag. Visionen om fossilbränsleoberoende till år 2030 redovisas i de två staplarna till höger i figuren nedan. I figuren visas även dagsläget och en antagen referensutveckling utan särskilda insatser år 2030, "business-as-usual" (BAU).



Fossilbränsleminskningen, utöver energibehovsminskningarna, åstadkoms genom att användningen av biodrivmedel (flytande och gas) ökar från 8 till 35-40 TWh/år och genom att elanvändningen ökar från 3 till cirka 7-8 TWh år 2030. Utöver den el som används för järnväg/bantrafik, som ökar med drygt 15% jämfört med idag, så sker el-introduktionen främst i personbilar (och arbetsmaskiner). Eldrift införs så att den motsvarar cirka 40 % av den återstående mängden energibehov i personbilar, efter effektivisering m.m. Detta måste betraktas som en mycket kraftig introduktion, men till följd av elens mycket höga energieffektivitet så blir det ändå jämförelsevis små mängder el.

För att sedan nå en koldioxidneutral transportsektor år 2050, antas en fortsatt ökning av både el och biodrivmedel. Omställning till eldrift för lättare fordon, såsom personbilar, lätta lastfordon och arbetsmaskiner kan t.o.m. komma att accelerera till 2050. Nivåer på cirka 15 TWh för el i den svenska transportsektorn är möjliga.

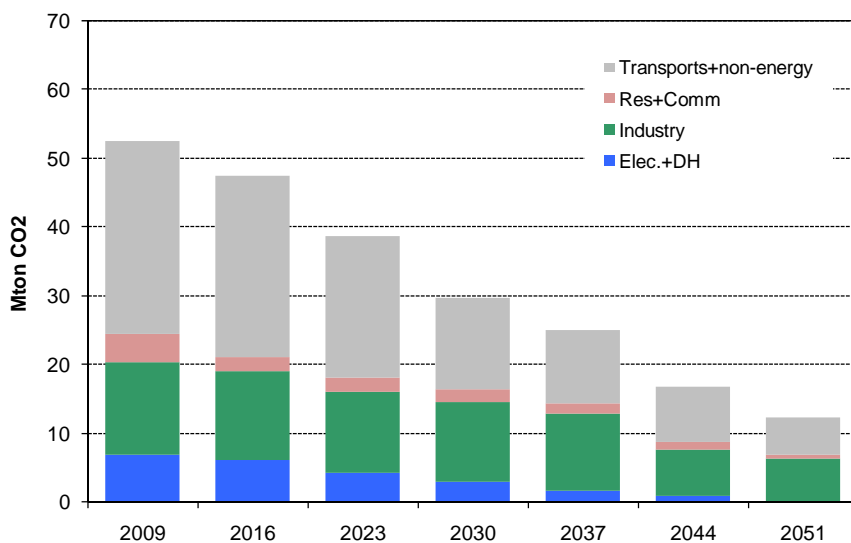
## **Sveriges klimatambitioner måste gå hand i hand med omvärldens**

*De ekonomiska konsekvenserna av omställningen till ett klimatneutralt samhälle i Sverige är helt och hållet avhängigt i vilken takt Sverige går med omvärlden.*

Visionsscenarioet bygger på en vision om ett klimatneutralt Sverige. Det är dock inte realistiskt att tro att Sverige isolerat skulle kunna bli klimatneutralt, utan att vår omvärld också har samma strävan. Utgångspunkten för scenarioet är därför en global enighet om att vi måste minska vår klimatpåverkan kraftigt; en strävan mot ett tvågradersmål. Visionsscenarioet utgår också ifrån att det under perioden fram till 2050 etableras någon form av globalt system för handel med utsläppsrätter, likt EU:s ETS-system. Priset på utsläppsrätter stiger i takt med att delmålen (globalt) på vägen mot klimatneutralitet blir allt strängare. År 2050 antar vi att priset nått 100 Euro/ton CO<sub>2</sub>.

Koldioxidutsläppen i Sverige i visionsscenarioet minskar från över 50 Mton/år idag till runt 10 Mton/år runt 2050, en 80%-ig minskning. El- och värmeproduktionen når, i det närmaste, nollutsläpp. I stor utsträckning är det därför endast processutsläpp från industrin, samt vissa mindre utsläpp från transport-

sektorn, som återstår mot slutet av perioden. Marginalkostnaden för reduktion av dessa ligger – enligt de källor vi använt – över de 100 Euro/ton som är det globala CO<sub>2</sub>-priset i detta scenario år 2050.



Koldioxidutsläppen i Sverige i visionsscenarioet. Elens utsläpp är mycket små redan idag.

## Varför inte nollutsläpp?

Att nå nollutsläpp är fullt möjligt, men de åtgärder som krävs för att nå ända ner till noll, kostar mer än 100 Euro/ton CO<sub>2</sub>. Åtminstone är det den bedömning som gjorts av dagens forskare och analytiker. Jämför vi resultaten i detta visionsscenario med andras arbeten, kan vi konstatera att vårt resultat ligger i linje med vad exempelvis EU och IPCC visar i motsvarande analyser. I arbetet "Vision 2050"<sup>1</sup>, som utförts av en finsk grupp inom IPCC:s och IEA:s nätverk, samt för det nordiska NEP-projektet, visas på en cirka 75-80%-ig växthusgasreduktion i Norden, en 70-75%-ig reduktion i Västeuropa (15 länder) och en 40-50%-ig reduktion globalt till 2050. Marginalkostnaden för växthusgasreduktion är, visar analysen, cirka 100 Euro/ton CO<sub>2eq</sub> år 2050 eller strax därefter. Analyserna visar samtidigt att man kan nå tvågradersmålet globalt till år 2100. Då, år 2100, skulle priset på en global utsläppsrättsmarknad ligga på 200-250 Euro/ton CO<sub>2eq</sub> (i dagens penningvärde).

Den svenska klimatberedningen, liksom klimatpropositionen, anger heller inte nollutsläpp år 2050 utan först år 2100. *Målet för utsläppsreduktion till 2050 sätter man till 75-90%*. Man skriver: "Inriktningen är att utsläppen av växthusgaser för Sverige år 2050 bör vara minst 75–90 procent lägre än år 1990. Vid seklets slut bör utsläppen av växthusgaser i Sverige vara nära noll." Det är alltså rimligt att anta att vi inte kommer att ha nollutsläpp till 2050. De globala analyserna visar istället – om vi får en internationell samsyn och strävan – att en global ambition kan ha nått så långt år 2050 att priset på utsläppsrätter är cirka 100 Euro/ton. Den globala utsläppsrätts-handeln säkerställer att vi har konkurrensneutralitet inom industrin med avseende på växthusgasutsläppen. Inga "läckage" av någon betydande storlek snedvrider konkurrensen. Då är det rimligt att tro att svensk industri också gör sina åtgärdsbedömningar utifrån den nivån, och att de åtgärder som är dyrare än 100 Euro/ton ännu inte genomförts år 2050. I en hållbar utveckling, i vilken klimatet är en hörnsten, har vi ju också att beakta den ekonomiska utvecklingen för industri och medborgare.

Om Sverige som nation vill se sig som klimatneutral år 2050, finns naturligtvis en lång rad möjligheter att utnyttja. Vi går inte in på dem alla här, utan ger endast ett exempel: Klimatpropositionen talar om att "en tredjedel av minskningen av växthusgaser i Sverige till 2020 för den icke handlande sektorn – jämfört med utsläppen 1990 – sker i form av investeringar i andra EU-länder eller flexibla mekanismer som CDM (Clean Development Mechanism)". På samma sätt kan vi naturligtvis resonera år 2050. Då skulle vi kunna "bokföra" de minskade utsläppen i andra länder, som vore de våra minskningar. En annan metod är att också inkludera *kolsänkor* i beräkningen.

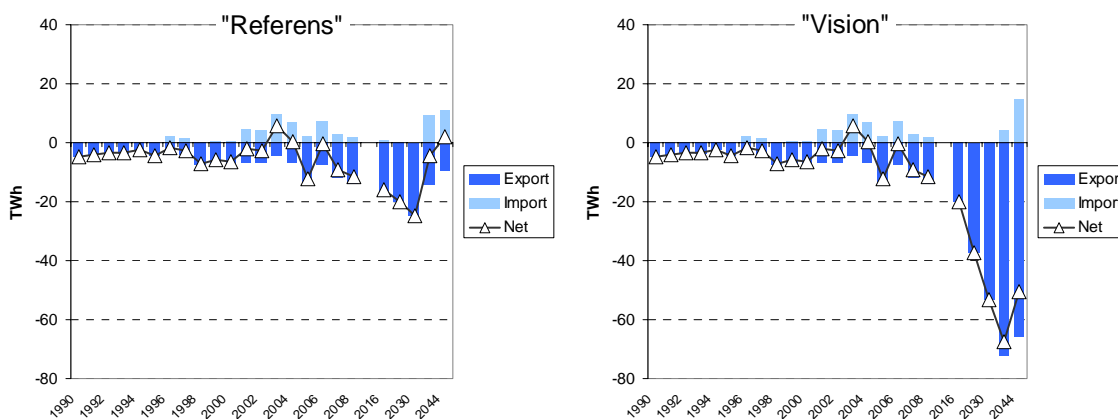
<sup>1</sup> VTT (2009) "Energy Visions 2050"; ISBN: 978-951-37-5595-9

Men än viktigare i detta synsätt är tanken och strävan om en samverkan över nationsgränserna i klimatarbetet. Ett globalt handelssystem är ett exempel på det. Ett annat, och lika viktigt, är integrationen och samverkan på de internationella energimarknaderna. Det nordiska och europeiska elsystemet öppnar för många viktiga möjligheter till internationell samverkan i klimatarbetet. En ökad elhandel i Europa är nödvändig för att vi skall kunna nå målet om en koldioxidneutral el i EU. Samtidigt är det en bra möjlighet för oss i Norden att kunna bidra i det europeiska klimatarbetet.

## Svensk och nordisk elelexport hjälper EU att bli klimatneutralt

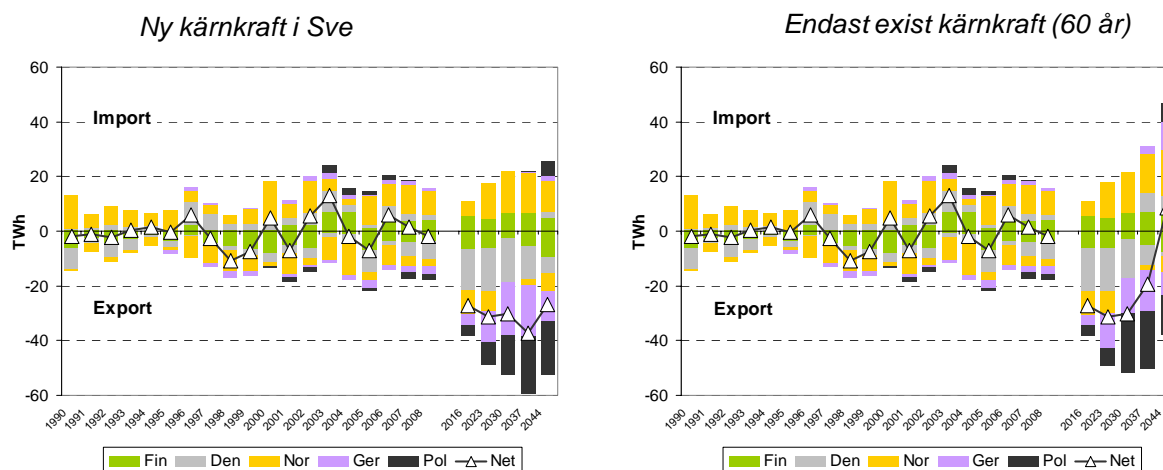
*De positiva förutsättningar som Norden har att producera fossilfri el kan hjälpa EU att gå mot ett koldioxidneutralt samhälle genom export av el från Norden till resten av EU.*

MARKAL-analyserna visar på en ökad drivkraft för växande elelexport från Norden till Kontinenten redan i referensfallet (utan ökande klimatambitioner). I visionsscenarioet ökar exporten mycket mer, och når nivåer långt över dagens. Det allt högre utsläppsriktpriset för koldioxid och våra nordiska stödsystem för förnybar kraft, gör investeringar i både ny förnybar kraft och ny kärnkraft lönsamma. Härigenom får vi ett överskott av CO<sub>2</sub>-fri kraft som vi kan bidra med i klimatarbetet genom att sälja den till våra grannländer i Nordeuropa.



*Nordisk elelexport och elimport till och från Kontinenten (främst Tyskland och Polen). Historiska värden för 2000-2008 samt modellresultat för perioden därefter.*

Runt år 2030 kan nettoexporten nå nivåer upp emot 60 TWh/år. Sverige svarar då för upp emot hälften av exporten från Norden, men elhandeln är ingalunda en envägshandel. Under perioder med lägre priser i våra grannländer och på Kontinenten köper vi el, medan vi säljer när vår produktionskostnad är lägre än grannarnas. Utan reinvestering i svensk kärnkraft kommer vi dock att bli alltmer beroende av import för vår elförsörjning, visar diagrammen nedan, och kring 2040 blir vi nettoimportörer.

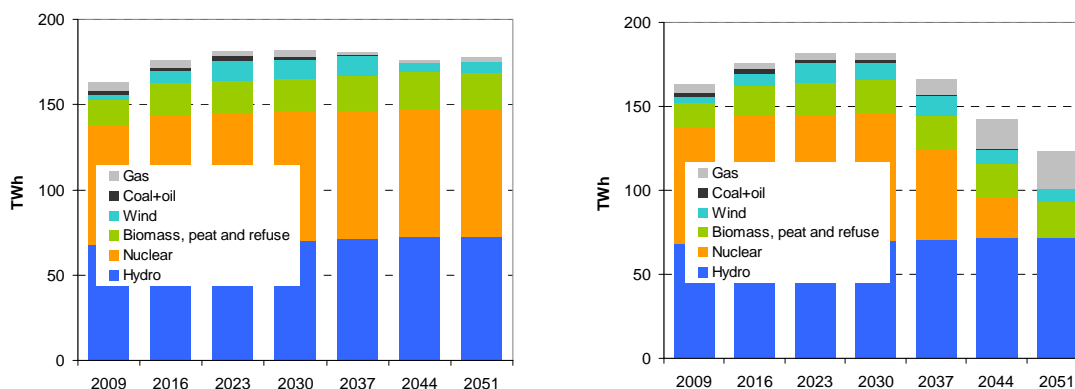


*Svensk elexport och elimport till och från våra grannländer i visionsscenarioet, med (vänster) och utan reinvestering i svensk kärnkraft. Historiska värden för 2000-2008 samt modellresultat därefter.*

## Betydelsen av svensk kärnkraft

Visionsscenarioet omfattar en möjlighet till reinvesteringar i svensk kärnkraft upp till samma kapacitet som vi har idag. MARKAL-analyserna visar på lönsamhet för en sådan reinvestering. Att priset på utsläppsrätter stiger bidrar till lönsamheten.

Diagrammen ovan visar tydligt att ett beslut om att reinvestera i kärnkraft också är ett beslut om vårt oberoende av el. Om vi inte väljer att reinvestera i kärnkraft, byggs stor del av ersättningskraften inte i Sverige. Det framgår tydligt av diagrammen nedan, som visar svensk kraftproduktion i visionsscenarioet med (till vänster) och utan reinvesteringar i kärnkraft. En mindre del av ersättningskraften byggs dock i Sverige efter modellår 2037 och utgörs då i huvudsak av gasbaserad kraft (till stor del med CCS).



Det är då, om vi inte reinvesterar i kärnkraften, mer lönsamt för det nordiska/noruropeiska elsystemet att bygga ersättningskraften i våra grannländer, åtminstone stora delar av den. Exempelvis expanderar då gaskraft med CCS i Norge i MARKAL-analyserna. Förnybar kraft, främst vindkraft, skulle naturligtvis kunna konkurrera med gas/kol-kraftanläggningar med CCS, men för det krävs att stödsystemen för förnybar kraft förlängs efter 2035. I visionsscenarioet – som är ett klimatscenario – har vi inte antagit att så sker (i en känslighetsberäkning har vi dock valt att ha kvar det svenska elcertifikatssystemet på samma nivå även efter 2035).

Att skärpa klimatkraven skulle däremot inte ge de förnybara kraftslagen någon nämnvärd fördel gentemot fossilbränslekraftanläggningar med CCS, eftersom just CCS-utrustningen gör även dessa (i det närmaste) koldioxidneutrala.

## Kort om energieffektivisering

Såväl kärnkraft, förnybar kraftproduktion som gas/kol-kraftanläggningar med CCS ger alltså en elproduktion som är koldioxidneutral. Vi har ovan konstaterat att nordisk el kan bli klimatneutral redan 2020 och att EU har satt som mål att europeisk el skall bli klimatneutral 2050. En viktig åtgärd för att nå dessa mål är energieffektivisering.

Redan själva omställningen av elproduktionen, från kondenskraft till exempelvis biobränslekraftvärme och vindkraft, leder till en mycket stor effektivisering i produktionsledet. Kolkraft med stora energiförluster byts mot effektiv biobränslekraftvärme med små förluster vid samtidig el- och värmeproduktion. Samtidigt bidrar naturligtvis effektiviseringen i konsumtionsledet till omställningen. Vi har redan nämnt värmepumpar och elfordon som två mycket viktiga exempel. Även traditionellt energisparande gör nytta vid omställningen. Energieffektivisering bidrar alltså till att reducera både klimatpåverkan och energikostnaderna på vägen till klimatneutralitet. Men när vi väl har en klimatneutral elproduktion, gör effektiviseringsåtgärderna inte längre samma klimatnytta. Att reducera el- eller fjärrvärmean-

vändningen av klimatskäl, när el och fjärrvärme gjorts klimatneutrala, är verkningslöst. Däremot kan naturligtvis energieffektivisering alltid motiveras av andra skäl, exempelvis de ekonomiska.

I MARKAL-analyserna ser vi också tydligt att politiska program för energieffektivisering får mycket mindre effekt om de införs efter det att el- och energisystemen blivit klimatneutrala, än om de införs som en del i omställningen.

# Innehåll

<b>Sammanfattning .....</b>	<b>3</b>
Koldioxidneutral el bidrar till det klimatneutrala samhället.....	3
El är en hörnpelare för att nå det klimatneutrala samhället.....	3
Utsläppen av koldioxid är nära noll från svensk elproduktion redan idag, från nordisk år 2020 och från europeisk elproduktion år 2050.....	3
Ökad elanvändning en viktig förutsättning för ett klimat neutralt och energieffektivare Sverige och Europa .....	4
Ökad marknadsandel för el i industri och byggnader.....	4
Fossilbränsleoberoende transportsektor år 2030 och klimatneutral år 2050 .....	4
Varför inte nollutsläpp?.....	6
Svensk och nordisk elexport hjälper EU att bli klimat neutralt.....	7
Betydelsen av svensk kärnkraft.....	8
Kort om energieffektivisering .....	8
<b>1. Inledning .....</b>	<b>12</b>
Den svenska klimatpropositionen.....	12
Klimatberedningens förslag till mål för begränsad klimatpåverkan .....	12
Nollutsläpp år 2100, reduktioner på 75-90% till 2050 jämfört med 1990 .....	13
Denna MARKAL-studie .....	14
Scenarier och parameteranalyser.....	14
Andra studier .....	14
Eurelectrics och EU-kommissionens vision för 2050 .....	15
Nordic Energy Perspectives - NEP.....	15
McKinseys studie av kostnader för att reducera växthusgasutsläppen.....	15
Analyser för Energimyndigheten .....	16
<b>2. Beräkningsförutsättningar – de viktigaste.....</b>	<b>17</b>
Beräkningsfall .....	18
Bränslepriser.....	19
EU ETS .....	19
Elproduktionsteknik .....	19
Elhandel med grannländerna .....	20
<b>3. Visionsscenario – med omfattande känslighetsanalys.....</b>	<b>21</b>
Utsläppen av koldioxid reduceras kraftigt till 2050 .....	21
Varför inte nollutsläpp?.....	21
I linje med klimatberedningens resultat .....	23
Utsläppen av koldioxid nära noll i nordisk elproduktion år 2020 .....	23
Överskott på koldioxidfri nordisk elproduktion från modellår 2030.....	24
El är en hörnpelare för att nå klimatmålet.....	25
Ökad elanvändning en viktig förutsättning för ett klimat neutralt och energieffektivare Sverige och Europa .....	25
Ökad marknadsandel för el i industri och byggnader.....	26
Elanvändningens utveckling i Norden och Sverige.....	26
Elens roll i transportsektorn – stor ökning till 2030 och 2050 .....	27
All <u>ny</u> kraft som byggs i Norden är koldioxidfri.....	30
Prisutveckling för el – i produktions- och konsumtionsledet .....	31
Nordisk elexport hjälper EU att gå mot ett klimat neutralt EU .....	33
Betydelsen av svensk kärnkraft.....	34
Antaganden om kärnkraftens investeringskostnad.....	35
Visionsscenarioet - men med höga fossilbränslepriser .....	37
Kan en global klimatpolicy och kraftigt stigande fossilbränslepriser gå hand i hand? .....	38
Fjärrvärmens .....	38
Energieffektivisering.....	39
Kort diskussion om el-effektiviseringen .....	40

<b>4. Referensfallet .....</b>	<b>42</b>
Nordisk elproduktion.....	42
Elexport- och elimport.....	43
Kraftproduktionen i Nordeuropa blir mer gas/kol-beroende.....	44
Alternativt referensfall – med kraftigare bränsleprisökning.....	45
<b>5. MARKAL-analysen bekräftar visionens tre steg .....</b>	<b>48</b>
Vision om ett klimatneutralt Sverige år 2050.....	48
El är en hörnpelare för att nå det klimatneutrala samhället.....	48
Utsläppen av koldioxid är nära noll från svensk elproduktion redan idag, från nordisk år 2020 och från europeisk elproduktion år 2050.....	49
Ökad elanvändning en viktig förutsättning för ett klimatneutralt och energieffektivare Sverige och Europa .....	49
Svensk och nordisk elexport hjälper EU att bli klimatneutralt.....	50
<b>6. Utvecklingen av Nordens energisystem till 2020 .....</b>	<b>51</b>
<b>Bilaga 1: Omvärlds- och beräkningsförutsättningar .....</b>	<b>55</b>
Energibehov .....	55
Bränslepriser.....	57
Styrmedel .....	58
Skatter.....	58
De övriga länderna .....	61
Elhandel med grannländerna .....	61
Elproduktion.....	61
Kärnkraft .....	61
Vattenkraft.....	62
Gaskraft .....	63
Biobränslekraft .....	64
Fjärrvärme .....	66
Övrigt .....	66
<b>Bilaga 2: Kort om MARKAL-modellen .....</b>	<b>67</b>
Den nordiska databasen.....	67

## 1. Inledning

*Svensk Energis 2050-studie ska visa på utveckling av energisystemet fram till 2050 givet att Sverige år 2050 ska ha ett klimat neutralt samhälle. Fokus i studien är elens roll i det klimatneutrala samhället. Svensk Energis mål med studien är att för kunder, politiker, myndigheter, media och andra intressenter visa på en väg till ett klimat neutralt samhälle, samt att medvetandegöra att el är en central del av lösningen på klimatproblemet.*

### **Den svenska klimatpropositionen**

I Sverige har regeringen i sin klimatproposition från 2009 ställt ut en vision om ett klimat neutralt Sverige:

*”År 2050 har Sverige en hållbar och resurseffektiv energiförsörjning och inga nettoutsläpp av växthusgaser i atmosfären.”*

”Genom denna inriktning bidrar Sverige på ett ambitiöst sätt till de globala utsläppsreduktioner som behövs på lång sikt” står det vidare i propositionen.

Utgångspunkten för regeringens klimatvision är IPCC:s tvågradersscenario, som bygger på att vi långsiktigt kan stabilisera andelen växthusgaser i atmosfären på nivåer som inte höjer årsmedeltemperaturen med mer än två grader.

#### **Klimatpropositionens vision till 2050**

(Prop. 2008/09:162)

**Regeringens bedömning:** Utifrån tvågradersmålet och ambitionen att stabilisera koncentrationen av växthusgaser i atmosfären på 400 ppmv koldioxidekvivalenter formuleras Sveriges utsläpp till 2050. Visionen är att Sverige år 2050 inte har några nettoutsläpp av växthusgaser i atmosfären. Genom denna inriktning bidrar Sverige på ett ambitiöst sätt till de globala utsläppsreduktioner som behövs på lång sikt.

**Klimatberedningens förslag:** Mot bakgrund av bedömningar av globala reduktionsbehov och med tillämpning av olika fördelningsmodeller kan man uppskatta hur mycket Sverige och andra länder behöver minska sina utsläpp till olika tidpunkter för att ta sin respektive andel av det globala ansvaret för att nå tvågradersmålet.

Enligt sådana beräkningar, som har redovisats av Vetenskapliga rådet (Miljövårdsberedningens rapport 2007:03, s. 71), bör EU till år 2050 minska utsläppen med ungefär 75–90 procent jämfört med 1990 års nivå, för att bidra med sin andel av det globala ansvaret för att långsiktigt stabilisera växthusgaskoncentrationen på 400 ppmv koldioxidekvivalenter. Sverige bör enligt vetenskapliga rådet minska utsläppen med 70–85 procent jämfört med 1990. Detta beror på att Sverige i dagsläget har betydligt lägre utsläppsnivåer per capita respektive per BNP än genomsnittet bland industriländer. Klimatberedningens bedömning var att utsläppen av växthusgaser för Sverige år 2050 bör vara minst 75–90 procent lägre än 1990.

### **Klimatberedningens förslag till mål för begränsad klimatpåverkan**

Klimatberedningen gav i sin SOU 2008:24 förslag på nya klimatmål för Sverige. Man skriver ”Utsläppsmålen för Sverige på lång sikt, till 2050 och därefter, (bör) baseras på den omfattande långsiktiga

ga globala utmaningen, Sveriges del av det globala ansvaret för att begränsa utsläppen av växthusgaser samt en bedömning av att kostnaderna är acceptabla.

## Nollutsläpp år 2100, reduktioner på 75-90% till 2050 jämfört med 1990

Klimatberedningen, liksom klimatpropositionen, anger inte nollutsläpp år 2050 utan först år 2100. *Målet för utsläppsreduktion till 2050 sätter man till 75-90%.* Man skriver: ”Inriktningen är att utsläppen av växthusgaser för Sverige år 2050 bör vara minst 75–90 procent lägre än år 1990. Vid seklets slut bör utsläppen av växthusgaser i Sverige vara nära noll. Beredningen anser att det är viktigt att det framgår i miljö kvalitetsmålet att klimatförändringarna är globala och att Sverige har ett ansvar tillsammans med andra länder för att det globala målet uppnås. Internationellt samarbete och insatser i alla länder är av avgörande betydelse för att uppnå det samlade nationella miljö kvalitetsmålet.”

Förslag till Nationellt miljö kvalitetsmål för

### **Begränsad klimatpåverkan**

Betänkande av Klimatberedningen (SOU 2008:24)

Enligt FN:s ramkonvention för klimatförändringar ska halten av växthusgaser i atmosfären stabiliseras på en nivå som innebär att människans påverkan på klimatsystemet inte blir farlig. Målet ska uppnås på ett sådant sätt och i en sådan takt att den biologiska mångfalden bevaras, livsmedelsproduktionen säkerställs och andra mål för hållbar utveckling inte äventyras. Sverige har tillsammans med andra länder ansvar för att det globala målet uppnås.

#### **Övergripande mål**

*Temperaturmål (nytt)*

Sverige bör ta sin del av det globala ansvaret för att ökningen av den globala medeltemperaturen begränsas till högst 2 grader Celsius jämfört med den förindustriella nivån.

*Koncentrationsmål som härleds från temperaturmålet (ändrat)*

Svensk klimatpolitik bör bidra till att koncentrationen av växthusgaser i atmosfären på lång sikt stabiliseras på nivån högst 400 miljondelar koldioxidekvivalenter (ppmv CO<sub>2</sub>e).

#### **Delmål**

*Utsläppsmål 2008–2012 (oförändrat delmål)*

De svenska utsläppen av växthusgaser ska som ett medelvärde för perioden 2008–2012 vara minst 4 procent lägre än utsläppen år 1990. Utsläppen ska räknas som koldioxidekvivalenter och omfatta de sex växthusgaserna enligt Kyotoprotokollets och FN:s klimatpanel, IPCC:s, definitioner. Delmålet ska uppnås utan kompensation för upptag i kolsänkor eller med flexibla mekanismer.

*Utsläppsmål till 2020 (nytt)*

Sverige ska fortsätta vara pådrivande för omfattande minskningar av de globala växthusgasutsläppen samt för att EU:s minskningsmål till år 2020 jämfört med år 1990 därmed ska bli 30 procent.

#### **Inriktningsmål**

*Utsläppsmål till år 2050 (ändrat)*

Inriktningen är att utsläppen av växthusgaser för Sverige år 2050 bör vara minst 75–90 procent lägre än år 1990.

*Utsläppsmål till slutet av detta sekel (ändrat)*

Vid slutet av detta sekel bör utsläppen av växthusgaser i Sverige vara nära noll.

## **Denna MARKAL-studie**

I denna studie önskar Svensk Energi använda modellen MARKAL för analys av utvecklingen av det svenska och nordeuropeiska el- och energisystemet, eftersom det är samma modell som Energimyndigheten använder i sitt scenarioarbete. Det innebär att denna studie har samma utgångsdata som myndigheten har i sina modellanalyser.

Med utgångspunkt i den version av MARKAL-NORDIC-modellen som Profu använder i arbeten tillsammans med Energimyndigheten, gör vi i detta uppdrag beräkningar för utvecklingen av Sveriges energisystem för perioden 2005-2050.

I allt väsentligt används samma uppsättning grunddata för MARKAL som vi använder mot Energimyndigheten. I känslighetsanalyser har vi sedan också studerat vad en anpassning av vissa indata som är centrala för Svensk Energis frågeställning innebär för resultaten. Det har gällt prisnivåer på utsläppsrätter, efterfrågeutvecklingen, kostnader på vissa energitekniker samt reinvesteringar i kärnkraft.

## **Scenarier och parameteranalyser**

För en visionsstudie av detta slag kan en serie av flera huvudscenarier vara en bra analysgrund, exempelvis ett referensscenario (av typen ”business as usual”) och ett ”visionsscenario”. För scenarierna kan man sedan göra känslighetskorningar, där enskilda indata (parametrar) varierar, för att få ökad förståelse för vilken påverkan dessa parametrar har på utvecklingen. Sådana parameterstudier kan kanske vara lämpligt att göra för en dryg handfull centrala parametrar. I denna studie har vi gjort känslighetsanalyser för följande parametrar:

- Prisutvecklingen på de internationella energimarknaderna
- Prisutvecklingen för utsläppsrätter för koldioxid/växthusgaser
  - Även analyserat ett tänkt utsläppstak för CO<sub>2</sub> istället för ett CO<sub>2</sub>-prisantagande
- Svenska styrmedel: Elcertifikatsystemets längd efter 2035 och koldioxidskatterna för den icke-handlande sektorn
- Energiefterfrågan utveckling och program för energieffektivisering
- Möjligheten till reinvestering i svensk kärnkraft
- Investeringskostnaden för elproduktionstekniker: vindkraft, kärnkraft, CCS...
- Kalkylräntans storlek

MARKAL omfattar det stationära energisystemet, men inte transportsektorn och har heller inte någon detaljerad beskrivning av industrisektorns processer, sänkor för koldioxid, andra växthusgaser än koldioxid etc. I de uppdrag vi genomför med Energimyndigheten, görs analyserna av dessa delar separat, och beröringspunkterna med MARKAL görs genom indataanpassning. Vi har jobbat på samma sätt i denna studie. Kunskap om utvecklingen inom de sektorer som MARKAL inte omfattar har vi hämtat från andra studier. Några av dem beskrivs kortfatta nedan.

## **Andra studier**

Förutom MARKAL-analyser har vi i detta uppdrag utnyttjat kunskap och resultat från en lång rad andra studier, bl.a.:

- Det nordiska forskningsprojektet Nordic Energy Perspectives
- Elforsks och Svensk Energis studie om en fossilbränsleoberoende transportsektor 2030
- Eurelectrics och EU:s studie/vision om ett klimatneutralt europeisk elsystem år 2050
- Forskningsprojektet Pathways to Sustainable European Energy Systems
- McKinseys studie om växthusgasreduktion i Sverige till 2020 och 2030

Några av dessa studier beskrivs kortfattat nedan.

## **Eurelectrics och EU-kommissionens vision för 2050**

Denna vision har utnyttjat EU:s energisystemmodell Primes, för att generera resultatunderlag. Studien diskuteras kort i avsnittet om beräkningsförutsättningar nedan.

## **Nordic Energy Perspectives - NEP**

Nordic Energy Perspectives (NEP) är ett tvärvetenskapligt nordiskt energiforskningsprojekt med den övergripande ambitionen att bidra till en starkare tillväxt och utveckling i de nordiska länderna. NEP analyserar och skapar nya insikter om konsekvenserna för energimarknaderna och energisystemen av energipolitiska mål och styrmedel utifrån nya omvärldsförhållanden. Projektet skall för beslutsfattare tydliggöra konsekvenserna av politiska och strategiska beslut hos politiker, energiaktörer och allmänhet för att möjliggöra bättre beslut och avvägningar mellan konkurrerande mål. Projektet syftar till att stödja en konstruktiv dialog mellan forskare, politiker, myndigheter och energimarknadens aktörer. Mer information om NEP finns på: [www.nordicenergyperspectives.org](http://www.nordicenergyperspectives.org).

### NEP utgår från EU-målen till 2020

Den stora utmaningen för de svenska, nordiska och europeiska energisystemen det närmaste decenniet är att uppnå EU:s mål för 2020 i den slutliga utformning dessa kommer att få.

NEP:s analyser har utgått från EU-målen, som de formulerats i EU:s energi- och klimatpolitiska paket från 2008 och olika tänkbara varianter av dessa. I projektet har forskarna analyserat utvecklingen, dragit slutsatser och belyst konsekvenser av målen. Dessa konsekvensanalyser och slutsatser bygger delvis också på arbeten i flera andra projekt som forskarna deltagit i under projektperioden, bl.a. omfattande internationella projektet inom EU, IEA och IPCC men även nordiska och nationella projekt; i Sverige bl.a. forsknings- och utredningsprojekt i Elforsks och Energimyndighetens regi.

NEP hanterar vägval och utveckling för det svenska och nordiska stationära energisystemet till 2020 och 2030. Transportsektorn är endast *översiktligt* inkluderad i vissa av analyserna.

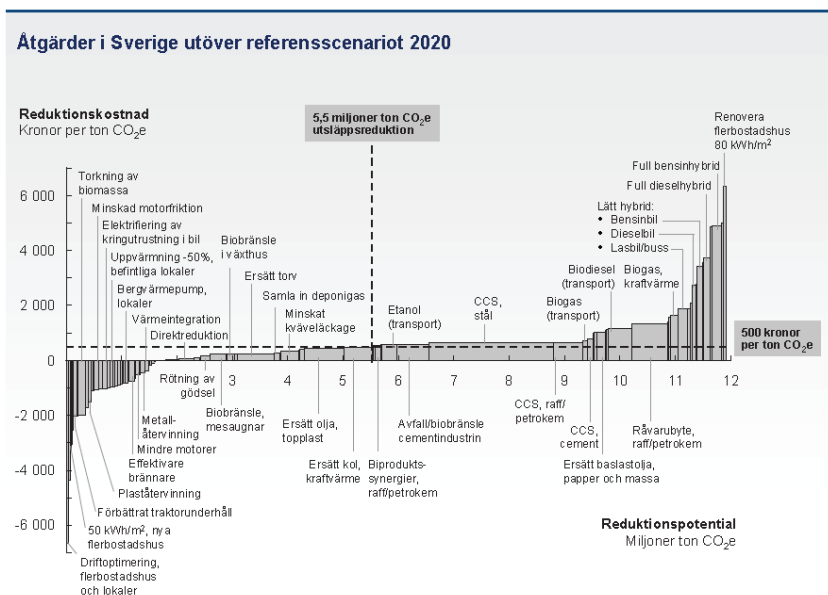
En kortfattad redogörelse för ett urval av NEP:s resultat och slutsatser för 2020 ges i kapitel 6 nedan.

## **McKinseys studie av kostnader för att reducera växthusgasutsläppen**

I utredningen "Möjligheter och kostnader för att reducera växthusgasutsläpp i Sverige" har McKinsey & Company, på Svenskt Näringslivs uppdrag, gjort ett omfattande kartläggningsarbete. Mer än 40 olika företag och organisationer från alla sektorer i ekonomin har deltagit i en heltäckande analys av fler än 200 olika åtgärder för att reducera utsläppen av växthusgaser i Sverige. Alla resultat har diskuterats och verifierats med ledande experter inom olika branscher för att säkerställa realismen i antagandena. Studien är baserad på samma metodik som använts i andra studier, både globalt och i flera andra länder, till exempel Tyskland, USA, och Australien.

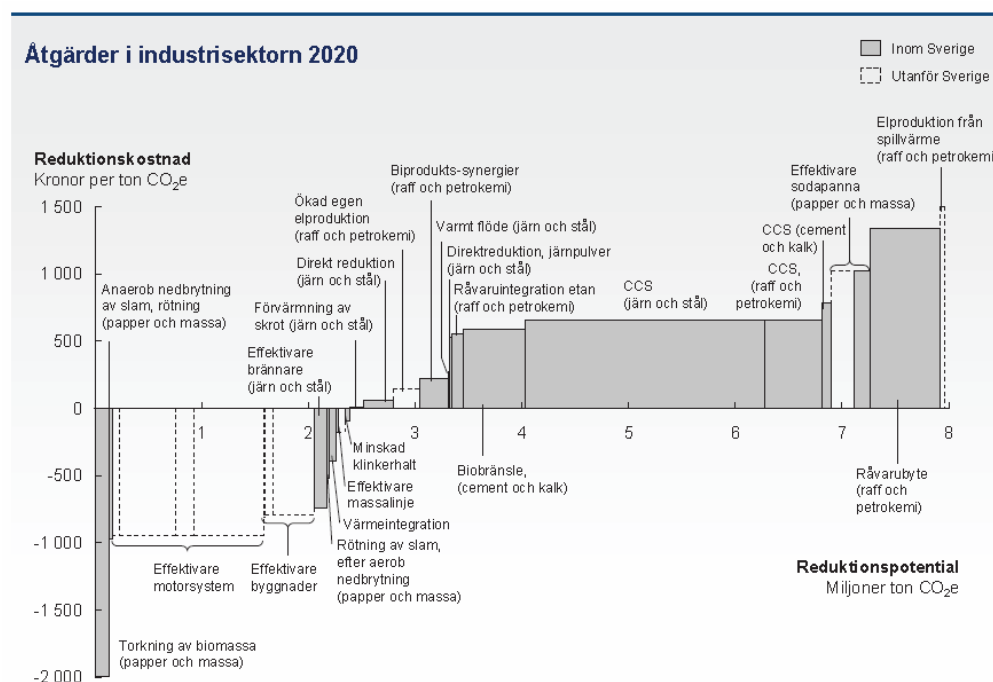
För att kunna bedöma effekten av framtida åtgärder har ett referensscenario<sup>2</sup> tagits fram som visar hur utsläppen utvecklas fram till 2020 och 2030, under förutsättning att inga särskilda åtgärder vidtas utöver redan beslutade styrmedel. Genom tekniska åtgärder, visar studien, finns potential att minska utsläppen av växthusgaser ytterligare till år 2020, en minskning med 10 procent från 2005. Beräkningarna utgår från samma grundantaganden som i referensscenariot. Till 2030 kan utsläppen minskas till 23 procent under 2005 års nivå.

Figuren nedan visar menyn av åtgärder i McKinsey-studien:



Åtgärder i Sverige utöver referensscenariot 2020 (Källa: McKinsey-studien)

I detta uppdrag, har vi särskilt uppmanats att utnyttja åtgärdsmenyn för den svenska industrisektorn, och då särskilt åtgärdena inom den energiintensiva industrins processer.



Åtgärder i industrisektorn 2020 (Källa: McKinsey-studien)

## Analys för Energimyndigheten

Vi uppdaterar databasen för MARKAL-modellen kontinuerligt. I synnerhet görs detta i samband med utredningar åt Energimyndigheten, till exempel i långsiktsprognoiser och elcertifikatanalys. Den aktuella modellbeskrivningen reflekterar därmed flera viktiga grundförutsättningar och antaganden som görs av Energimyndigheten i dess arbete med att analysera det svenska energisystemets långsiktiga utveckling, inklusive konsekvensanalyser av styrmedelsförändringar, exempelvis det svenska elcertifikatsystemet.

## 2. Beräkningsförutsättningar – de viktigaste

Modellberäkningar med MARKAL-NORDIC har varit centrala för detta uppdrag. Modellen beskriver de stationära energisystemen (el, fjärrvärme samt övrig energianvändning inom industri, bostäder och service – transporter ingår därmed ej) för de fyra nordiska länderna Sverige, Norge, Danmark och Finland. Dessutom ingår en beskrivning av elproduktionssystemen i Tyskland och Polen vilket innebär att elhandeln mellan de nordiska länderna och Kontinentaleuropa inkluderas i modellanalyserna.

De viktigaste beräkningsförutsättningarna är hämtade ur såväl EURELECTRICs ”Roadmap for a carbon-neutral European electricity sector by 2050” som de beräkningsuppdrag som Profu gjort åt Energinmyndigheten bland annat inför Långsiktsprognos 2008 och de senaste analyserna av det svenska elcertifikatsystemet.

I korthet kan modellansatsen beskrivas som en metod att generera den mest kostnadseffektiva utvecklingen av energisystemen från idag fram till 2050 givet en lång rad olika omvärldsförutsättningar, begränsningar samt tekniska kostnader och prestanda. Viktiga omvärldsförutsättningar kan till exempel vara energibehov, styrmedel, teknisk utveckling och bränslemarknader. Modellverktyget omfattar en mycket detaljerad beskrivning av existerande kapitalstock samt antaganden om återstående livslängder. I takt med utfasning av existerande kapacitet och förändrade omvärldsfaktorer såsom energibehov och styrmedel investerar modellen i ny teknik där det är lönsamt. På motsvarande vis som för existerande teknik förfogar modellen över ett mycket stort urval av ny teknik, såväl ny ”konventionell” teknik som ny ”ännu ej kommersialiserad” teknik.

I detta kapitel redogör vi för de viktigaste beräkningsförutsättningarna samt de olika beräkningsfallen som genomförts inom detta uppdrag. För en mer detaljerad indata- och metodbeskrivning så hänvisas läsaren till bilaga 1.

## Beräkningsfall

Två huvudfall har analyserats: ett referensscenario som så långt som möjligt bygger på Energimyndighetens antaganden inför Långsiktsprognoz 2008 (bränslepriser, CO<sub>2</sub>-pris samt energibehov mellan 2030-2050 skiljer sig dock något åt) och ett visionsscenario som präglas av Svensk Energis vision för framförallt det svenska energisystemets utveckling. Referensscenariot är därmed i huvudsak en konsekvens av existerande styrmedel medan visionsscenariot präglas av ett på förhand uppställt mål: (näst-intill) koldioxidneutralitet fram till 2050. Inom visionsscenariot har vi dessutom kompletterat analysen med ett antal känslighetsanalyser enligt nedanstående tabell.

	Referensscenario	Visionsscenario	Känslighetsanalys (i huvudsak i anslutning till visionsscenario)
<b>Fossilbränslepriser</b>	Stagnerande (enligt EURELECTRIC fram till 2016)	Stagnerande (enligt EURELECTRIC fram till 2016)	Stigande (enligt EURELECTRIC)
<b>Ny svensk kärnkraft</b>	Nej. 60 års livslängd	Ja, efter 2030	Nej.
<b>Ny svensk vattenkraft</b>	Ca 0,5 TWh	Ca 4 TWh	-
<b>Elcertifikatsystemets längd</b>	Till och med 2035	Till och med 2035	Till och med 2050
<b>CO<sub>2</sub>-pris kontra CO<sub>2</sub>-tak</b>	CO <sub>2</sub> -priser enligt tabell längre ner	CO <sub>2</sub> -priser enligt tabell längre ner	Reduktion på ca 90% för hela systemet
<b>CO<sub>2</sub>-skatt för den icke-handlande sektorn</b>	Ca 105 öre/kg	Ca 105 öre/kg	Ca 200 öre/kg mot 2050
<b>Energibehov</b>	Långsamt ökande alt stagnerande	Långsamt ökande alt stagnerande	Avtagande
<b>Kalkylränta</b>	7%	7%	4%

## Bränslepriser

Såväl fossila bränslen som bibränslen ingår i modellbeskrivningen. Fossilbränslepriserna är hämtade ur EURELECTRICs ”Roadmap for a carbon-neutral European electricity sector by 2050”. Två alternativa prisprojektioner har analyserats i detta uppdrag. En projektion som följer EURELECTRICs antaganden under hela modellperioden och en projektion som följer EURELECTRICs antaganden till och med modellår 2016. Därefter bibehålls prisnivåerna (detta utgör grundfallet i våra analyser). Priserna avser priser vid nationsgränsen. Eventuella skatter och distributionskostnader tillkommer.

*Fossila bränslepriser (SEK<sub>2007</sub>/MWh, fritt nationsgräns och exklusive skatt). Källa: EURELECTRICs ”Roadmap for a carbon-neutral European electricity sector by 2050”*

		2005	2010	2015	2025	2030	2050
<b>Kol</b>	<i>Grundfall</i>	60	80	90	90	90	90
	<i>Känsligh.-fall</i>	60	80	90	120	119	124
<b>Tung eldningsolja<sup>1)</sup></b>	<i>Grundfall</i>	186	195	200	200	200	200
	<i>Känsligh.-fall</i>	186	195	200	275	280	330
<b>Lätt eldningsolja<sup>1)</sup></b>	<i>Grundfall</i>	309	375	380	380	380	380
	<i>Känsligh.-fall</i>	309	375	380	525	545	670
<b>Naturgas</b>	<i>Grundfall</i>	162	180	190	190	190	190
	<i>Känsligh.-fall</i>	162	180	190	240	290	375

1) Antagandena från EURELECTRIC avser råoljeimport till Europa. Vi antar här ungefär samma priset förhållande mellan råolja och TEO respektive LEO som Energimyndigheten gjorde inför Långsiktsprognos 2008 (detta förhållande antas variera något med råoljepriset)

## EU ETS

I samtliga beräkningsfall finns även EUs utsläppsrättssystem för koldioxid med. I referensfallet antar vi att prisnivån följer det som antogs under arbetet med EURELECTRICs ”Roadmap for a carbon-neutral European electricity sector by 2050” (”Baseline”). I visionsscenarioet har vi förutom EURELECTRICs uppskattningar för ”Domestic climate action” även lutat oss emot de beräkningar som gjordes under NEP-projektet ([www.nordicenergyperspectives.org](http://www.nordicenergyperspectives.org)) för att samfällt i världen nå ett mål om en stabilisering av den globala temperaturökningen på 2°C. Detta innebär en prisutveckling på CO<sub>2</sub> enligt nedanstående tabell:

*Tabell 1 Antagen prisutveckling på utsläppsrätter för CO<sub>2</sub> inom EU ETS*

<i>EUR/t CO<sub>2</sub></i>	2010	2020	2030	2050
<b>Referensfall</b>	20 <sup>1)</sup>	25	32	47
<b>Visionsscenario</b>	20 <sup>1)</sup>	35	55	120

<sup>1)</sup> Egen bedömning.

Vi har dessutom kompletterat analysen med ett beräkningsfall där vi istället för ett CO<sub>2</sub>-pris studerat effekten av ett CO<sub>2</sub>-tak för hela det studerade systemet. I ett sådant fall genererar modellen istället CO<sub>2</sub>-priset som ett resultat. Detta har gjorts i första hand för att närmare bedöma hur långt vi i modellen kan driva utsläppsminskningarna.

## Elproduktionsteknik

Biobränslekraft och vindkraft är viktiga nya elproduktionsslag i Sverige och spelar en nyckelroll inte minst genom elcertifikatsystemet som skall öka produktionen av förnybar el med 25 TWh till och med 2020 (jämfört med 2002) enligt Regeringens proposition från i mars i år. Vattenkraft och kärnkraft är

naturligtvis också av avgörande betydelse i synnerhet i dagens system. I beräkningarna har vi antagit en viss effekthöjning i de existerande kärnkraftverken samtidigt som vi i visionsscenarioet tillåtit möjligheten att investera i helt nya reaktorer när de existerande verken fallit för åldersstrecket. Detta antar vi här sker då reaktorn uppnått en ålder av 60 år vilket blir aktuellt från och med modellår 2030 (se nedanstående tabell). Vi har dock antagit att den totala installerade kapaciteten är densamma som i referensfallet då fortfarande alla existerande reaktorer är i bruk och då effekthöjningsprogrammen antas vara genomförda.

Beträffande vattenkraft så förutsätts en utbyggnadspotential på endast 0,5 TWh i referensscenariot (i enlighet med det som antogs inför Långsiktsprogno 2008). I visionsscenarioet har vi istället ökat den potentialen till 4 TWh fram till 2050.

*Installerad effekt och förväntad årsproduktion för de svenska kärnkraftverken. (Uppgifter om installerad effekt i referensfallet har levererats av Energimyndigheten under arbetet med Långsiktsprogno 2008. Vi förutsätter dessutom att tillgängligheten för de svenska kärnkraftverken ökar något, från ca 82% i startåret till ca 86% från och med modellår 2016)*

		2004	2009	2016	2023	2030	2037	2051
<b>Referensfall (60 års livslängd)</b>	<b>Installerad effekt (GW)</b>	9,48	9,47	10,1	10,1	10,1	7,05	0
	<b>Beräknad årsproduktion (TWh)</b>	68	69,7	75,9	75,9	75,9	53,1	0
<b>Visionsscenario (nya reaktorer)</b>	<b>Installerad effekt (GW)</b>	9,48	9,47	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1
	<b>Beräknad årsproduktion (TWh)</b>	68	69,7	75,9	75,9	75,9	75,9	75,9

Avskiljning och deponering av CO<sub>2</sub> (CCS) finns med som en option att väsentligt minska utsläppen från vissa fossila kraftslag i samtliga modellerade länder. CCS är i modellbeskrivningen inkluderad som tilläggstekniker som kan adderas till "konventionella" kraftverk i de nordiska länderna. I Tyskland och Polen däremot har vi av modelltekniska skäl valt att tillåta CCS endast genom investeringar i helt nya elproduktionsanläggningar där CCS ingår från början.

## **Elhandel med grannländerna**

Elhandeln mellan de ingående länderna begränsas initialt av existerande överföringskapaciteter. Om det är ekonomiskt lönsamt så finns dock i modellbeskrivningen en möjlighet att förstärka överföringsförbindelserna genom nya investeringar.<sup>2</sup> I modellen finns dessutom ett antagande om en rimlig övre utbyggnadstakt för ny överföringskapacitet om den blir lönsam i beräkningarna. Elhandeln mellan länderna inom Norden och mellan de nordiska länderna och Tyskland/Polen är med andra ord ett modellresultat.

Dessutom ingår i modellen en importmöjlighet från Ryssland in till Finland. Denna import ligger på 7 TWh från och med modellår 2009 och antas vara så pass billig så att den alltid utnyttjas.

<sup>2</sup> För ny överföringskapacitet mellan länderna i modellen antar vi en investeringskostnad (omräknad till öre/kWh) på omkring 5-10 öre/kWh överförd el beroende på vilka länder som knyts samman. I denna kostnadsuppskattning ingår även ett antagande om att de nationella stamnäten inom respektive land måste förstärkas något.

### 3. Visionsscenario – med omfattande känslighetsanalys

*”Sveriges klimatambitioner måste gå hand i hand med utvecklingen i omvärlden annars blir kostnaderna orimliga och konkurrensen snedvriden” (ur Svensk Energis vision).*

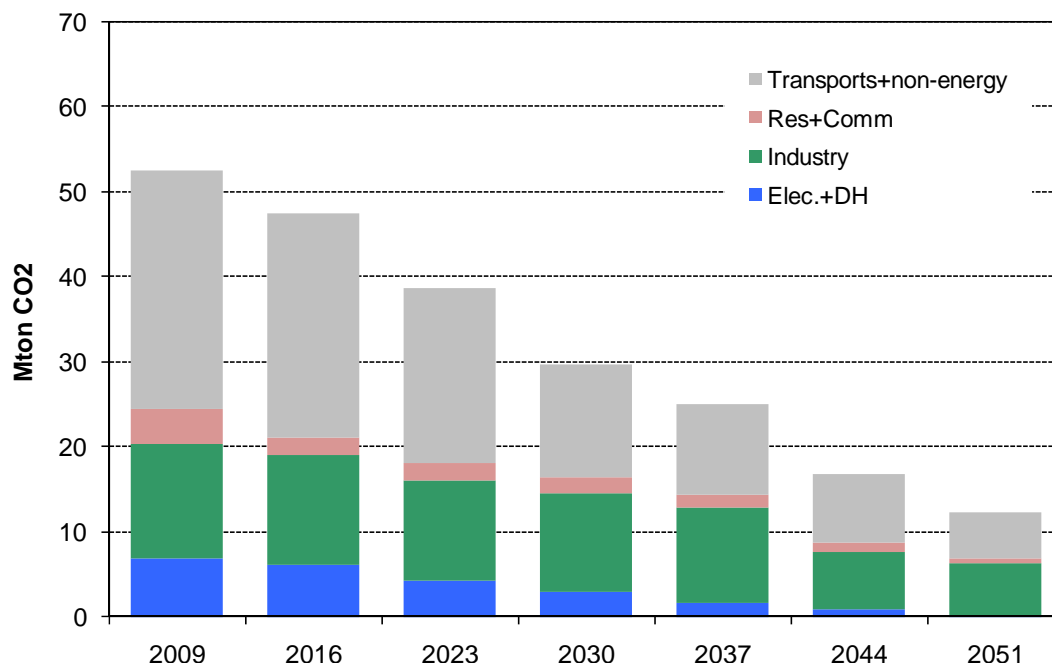
Visionsscenarioet bygger på en vision om ett klimatneutralt Sverige. Det är dock inte realistiskt att tro att Sverige isolerat skulle kunna bli klimatneutralt, utan att vår omvärld också har samma strävan. Utgångspunkten för scenariot är därför en global enighet om att vi måste minska vår klimatpåverkan kraftigt; en strävan mot ett tvågradersmål.

Visionsscenarioet utgår därför ifrån att det under perioden fram till 2050 etableras någon form av globalt system för handel med utsläppsrätter, likt EU:s ETS-system. Priset på utsläppsrätter stiger i takt med att delmålen (globalt) på vägen mot klimatneutralitet blir allt strängare. År 2050 antar vi att priset nått 100 Euro/ton CO<sub>2</sub>.

Säkerligen kommer länder att ha kommit olika långt i reduktionen av sina växthusgaser då, men den globala handeln säkerställer att vi har konkurrensneutralitet med avseende på växthusgasutsläppen. Inga ”läckage” av någon storlek snedvrider konkurrensen.

#### Utsläppen av koldioxid reduceras kraftigt till 2050

Koldioxidutsläppen i Sverige i visionsscenarioet minskar från över 50 Mton/år idag till ner mot 10 Mton/år runt 2050, en 80%-ig minskning. El- och värmeproduktionen når, i det närmaste, nollutsläpp. I stor utsträckning är det därför endast processutsläpp från industrin, samt vissa mindre utsläpp från transportsektorn, som återstår mot slutet av perioden. Marginalkostnaden för reduktion av dessa ligger – enligt de källor vi använt – över de 100 Euro/ton som är det globala CO<sub>2</sub>-priset i detta scenario år 2050.



*Koldioxidutsläppen i Sverige i visionsscenarioet*

#### Varför inte nollutsläpp?

Att nå nollutsläpp är fullt möjligt, i en modellanalys av detta slag. Det finns en lång rad tekniska åtgärder, som MARKAL-modellen inte tagit till, som skulle kunna leda till att vi fått ett modellresultat

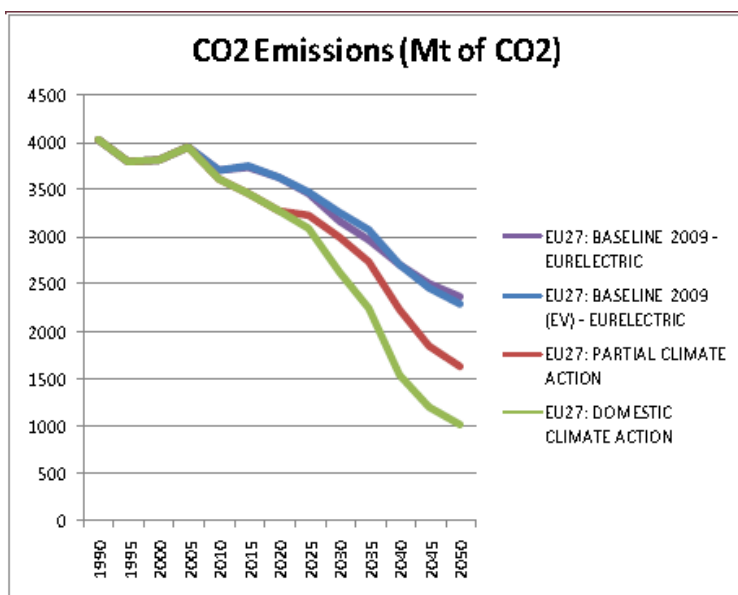
som visat på nollutsläpp i Sverige. Men dessa åtgärder kostar mer än 100 Euro/ton CO<sub>2</sub>. Åtminstone är det den bedömning som gjorts av dagens forskare och analytiker.

Samtidigt är det rimligt att anta att alla länder inte kommer att hinna nå klimatneutralitet till 2050. Modellanalyser inom IPCC, visar att år 2100 kan vara en rimligare tidpunkt för det. Dessa analyser visar samtidigt – om vi får en internationell samsyn och strävan - att en global ambition kan ha nått så långt år 2050 att priset på utsläppsrätter är cirka 100 Euro/ton. Då är det rimligt att tro att svensk industri också gör sina åtgärdsbedömningar utifrån den nivån, och att de åtgärder som är dyrare ännu inte genomförts. I en hållbar utveckling, i vilken klimatet är en hörnsten, har vi ju också att beakta den ekonomiska utvecklingen för industri och medborgare.

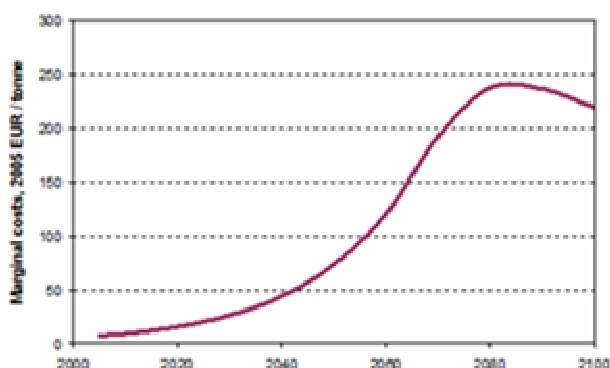
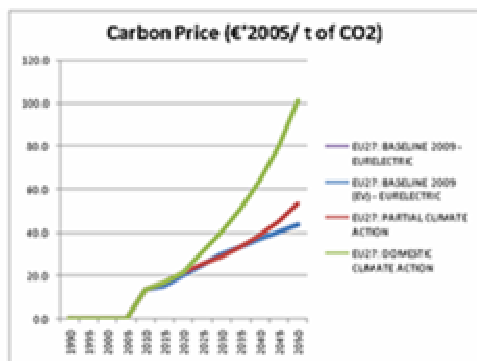
Jämför vi vårt visionsscenario med andras arbeten, kan vi konstatera att vårt resultat ligger i linje med vad exempelvis EU och IPCC visar i motsvarande analyser.

EU-kommissionens och Eurelectrics vision om en klimatneutral europeisk el, får cirka 75%-iga CO<sub>2</sub>-reduktioner till 2050 om man ser till minskningen av CO<sub>2</sub>-utsläppen från energi från alla sektorer (se figur till höger). Liksom vi, får de alltså nollutsläpp på el men inte lika stor reduktion av utsläppen i andra sektorer. EU/Eurelectrics analyser har också beräknat marginalkostnaden för CO<sub>2</sub>-reduktionen i sina scenarier och den når upp emot 100 Euro/ton år 2050 (se figur nedan).

*Resultat från EU/Eurelectrics analyser. Grön linje visar scenariot med störst CO<sub>2</sub>-reduktion i analyserna.*



I arbetet "Vision 2050", som utförts av en finsk grupp inom IPCC:s och IEA:s nätverk, samt för det nordiska NEP-projektet, visas på en cirka 75-80%-ig växthusgasreduktion i Norden, en 70-75%-ig reduktion i västeuropa (15 länder) och en 40-50%-ig reduktion globalt till 2050. VTT:s analyser visar samtidigt att man kan nå tvågradersmålet globalt till år 2100. Då ligger priset på den globala utsläppsrättsmarknaden på 200-250 Euro/ton CO<sub>2eq</sub> (i dagens penningvärde).



*Marginalkostnaden/priset för växthusgasreduktion i två studier, EU/Eurelectrics för Europa till vänster och VTT:s globala analyser till höger. Beräkningarna visar på stor samstämmighet, med ett CO<sub>2</sub>-pris på upp emot 100 Euro/ton år 2050 eller några år därefter.*

## I linje med klimatberedningens resultat

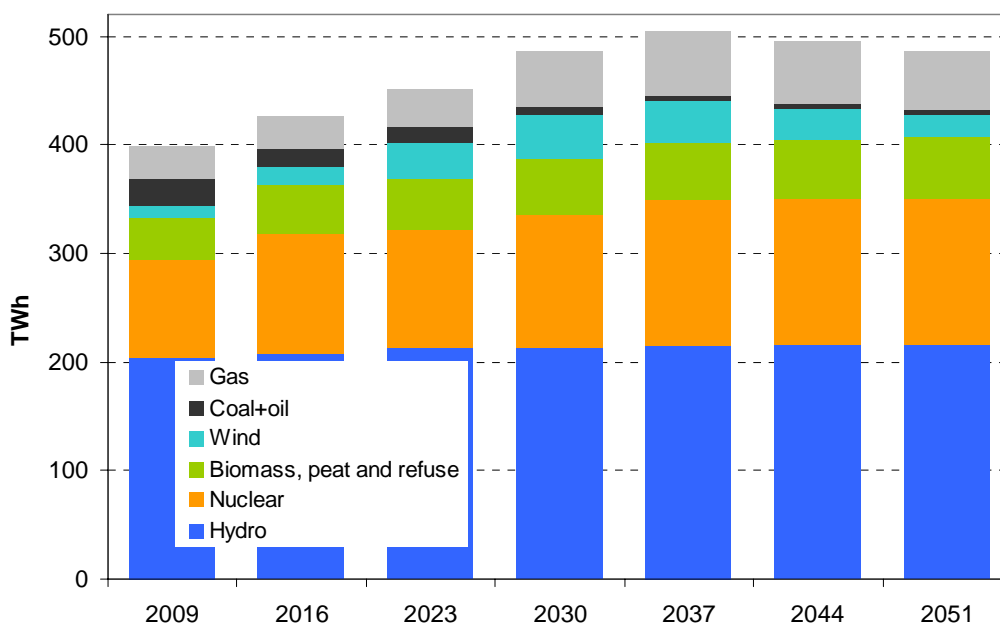
Klimatberedningen (SOU 2008:24) anger inte heller nollutsläpp till år 2050 utan först år 2100. *Målet för utsläppsreduktion till 2050 sätter man till 75-90%.* Man skriver: ”Inriktningen är att utsläppen av växthusgaser för Sverige år 2050 bör vara minst 75–90 procent lägre än år 1990. Vid seklets slut bör utsläppen av växthusgaser i Sverige vara nära noll.

I klimatpropositionen refererar man också klimatberedningen:

”Enligt beräkningar, som har redovisats av Vetenskapliga rådet (Miljövårdsberedningens rapport 2007:03, s. 71), bör EU till år 2050 minska utsläppen med ungefär 75–90 procent jämfört med 1990 års nivå, för att bidra med sin andel av det globala ansvaret för att långsiktigt stabilisera växthusgaskoncentrationen på 400 ppmv koldioxidekvivalenter. Sverige bör enligt vetenskapliga rådet minska utsläppen med 70–85 procent jämfört med 1990. Detta beror på att Sverige i dagsläget har betydligt lägre utsläppsnivåer per capita respektive per BNP än genomsnittet bland industriländer. Klimatberedningens bedömning var att utsläppen av växthusgaser för Sverige år 2050 bör vara minst 75–90 procent lägre än 1990.”

## Utsläppen av koldioxid nära noll i nordisk elproduktion år 2020

Svensk elproduktion baseras i dagsläget till nästan 100 procent på CO<sub>2</sub>-fria kraftslag. Vattenkraft, kärnkraft, biobränslekraft och vindkraft dominerar svensk elproduktion. Svensk elproduktion är alltså i det närmaste klimatneutral redan idag. Den nordiska elproduktionen är också på god väg att bli klimatneutral.



*Elproduktion i Norden i visionsscenarioet. En del av elproduktionen exporteras till Kontinenten. Från modellår 2030 är gaskraftverken utrustade med CCS.*

Redan för modellår 2023 är det rimligt att kunna säga att vi har en ”nära nog koldioxidneutral nordisk el”. Den el vi använder i Norden (drygt 400 TWh inkl. nätförluster) motsvaras av koldioxidfri elproduktion till nära nog 100% i visionsscenarioet (mer korrekt 97-104% beroende på valda parametervärden i känslighetsanalyserna – se avsnitt 1-2 ovan). Överskottet år 2023, som ger koldioxidutsläpp, motsvarar exporten till kontinenten.

Tabell: Andel av nordisk elanvändning (inkl. nätförluster) som motsvaras av koldioxidfri elproduktion i Norden, modellår 2023.

Visionsscenario - basparametrarna	Alt. visionsscen. - högt gas/kol-pris	Alt. visionsscen. - stora effektiviseringskrav	Alt. visionsscen. - lägre kalkylränta
97-98%	103%	99%	104%

I det omfattande nordiska energiforskningsprojektet Nordic Energy Perspectives (NEP) gjordes omfattade och detaljerade analyser av den nordiska elens klimatneutralitet. Projektets forskare kom till en liknande slutsats som vi drar här. I rutan nedan ges ett kort utdrag ur NEP:s slutsatskapitel.

### **NEP Scenarios for the development of the Nordic electricity system**

The future electricity system will be shaped by policies, market forces and expectations. The Nordic countries are endowed with significant renewable energy resources, but bringing down CO<sub>2</sub> emissions while sustaining competitive electricity prices is still a challenge. The NEP policy scenarios show to what extent CO<sub>2</sub> emissions from Nordic electricity generation are reduced with different combinations of renewables policies and the emission cap in the EU ETS. CO<sub>2</sub> emissions from Nordic electricity are likely to decline in all scenarios by 2020. The share of renewable generation is found to be the most important factor in reducing emissions, but reductions also depend on the degree to which surplus electricity generation can be exported to Continental markets. Although national renewable energy policies are likely to reduce emissions, the emission cap in the EU ETS and global climate policies are also crucial for CO<sub>2</sub> emissions from the Nordic electricity system.

### **Towards zero CO<sub>2</sub> emissions**

Model results indicate however, that net electricity exports are roughly in line with electricity generation based on fossil fuels in the scenarios with a high share of renewables generation already in 2020. As such, Nordic electricity consumption can be said to be CO<sub>2</sub>-free in the scenarios with a strict climate policy.

*En utförligare och mer detaljerad analys och diskussion ges i Nordic Energy Perspectives rapporter.*

## **Överskott på koldioxidfri nordisk elproduktion från modellår 2030**

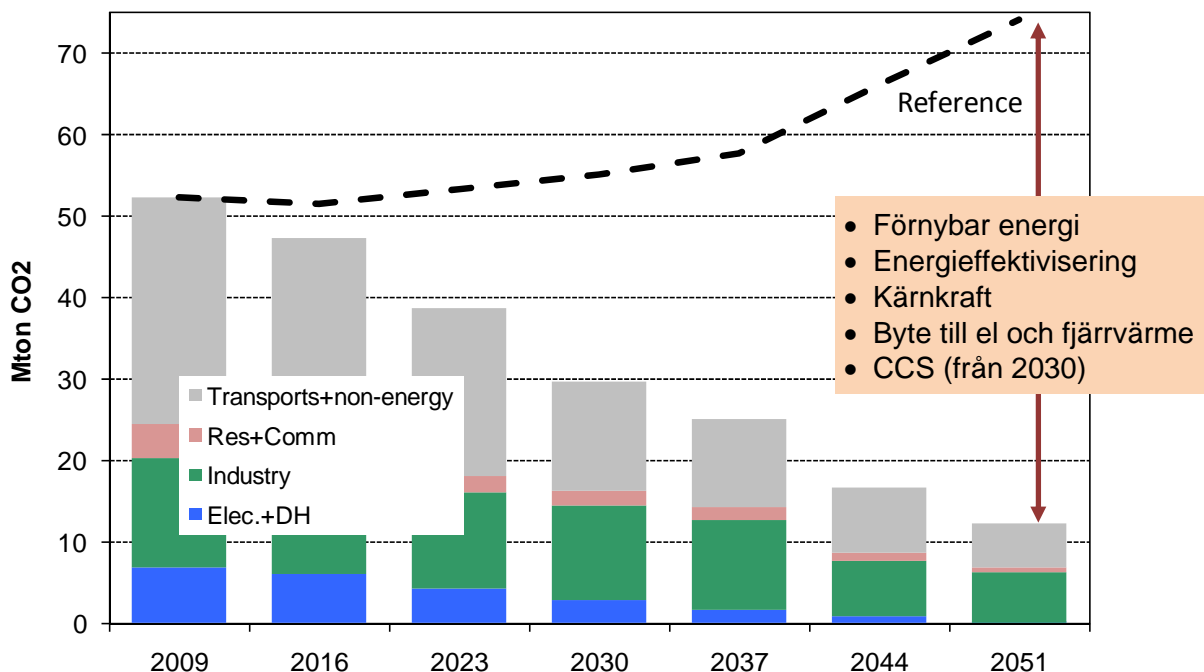
Redan för påföljande modellår (2030) visar vårt visionsscenario att det finns ett överskott – för export – av koldioxidfri nordisk el. Samtliga fall i känslighetsanalysen visar på ett överskott. Med alltmer CCS installerat ger nämligen också gaskraften successivt en koldioxidmager el.

EU:s energi- och klimatpaket för år 2020, med tydliga mål för växthusgasreduktion, förnybar energi och energieffektivisering, gör alltså omställningen av elsystemet i Norden till ett nära nog CO<sub>2</sub>-fritt nordiskt elsystem lönsam. Norden kommer därigenom att gå före resten av Europa i klimatarbetet.

Den europeiska elproduktionen har dock en bit kvar innan den är fri från utsläpp av koldioxid, men till år 2050 bedöms detta vara möjligt. Både EU och den europeiska elbranschorganisationen Eurelectric har det som mål.

## El är en hörnpelare för att nå klimatmålet

Vilka klimatåtgärder är då viktigast på väg mot klimatneutralitet? Genom att jämföra resultatet i vårt visionsscenario med referensscenariots resultat, kan vi få en god uppfattning om vilka åtgärder som har störst betydelse för reduktionen av koldioxid i Sverige under de kommande 40 åren. Det handlar alltså då om en reduktion på cirka 60 Mton koldioxid för år 2050, vilket figuren nedan illustrerar schematiskt.



Förnybar energi, främst bioenergi och vindkraft, spelar en mycket stor roll. Förnybar el- och värmeproduktion och förnybara drivmedel ökar kraftigt i visionsscenarioet. Reinvestering i svensk kärnkraft och utbyggnad i Finland ger koldioxidfri el, och det är särskilt efter 2030 som utfallet skiljer sig mellan visionsscenarioet och referensscenariot (i vilket vi antaget en avveckling av svensk kärnkraft). I takt med att el- och fjärrvärme produktionen blir koldioxidmager, blir också byten till el och fjärrvärme kostnadseffektiva klimatåtgärder. Samtidigt ger ökad elanvändning en energieffektivare energikonsumtion i exempelvis transportsektorn. Energieffektivisering som åtgärd, är naturligtvis också viktigt för att nå klimatneutralitet, både i användarledet och i produktionsledet. Byten från kondensproduktion av el till kraftvärme är ett bra exempel på effektivisering i produktionsledet. Från år 2030 har vi antagit att CCS-tekniken finns kommersiellt tillgänglig i stor skala, och då blir den också en viktig klimatåtgärd i visionsscenarioet, både för kraftproduktion (gas) och inom industrin.

## Ökad elanvändning en viktig förutsättning för ett klimatneutralt och energieffektivare Sverige och Europa

*El har alltså stora förutsättningar att bli en allt viktigare klimatåtgärd för att åstadkomma de utsläppsminskningar av växthusgaser som måste till. Genom en ökad användning av el i transportsektorn, industrin och uppvärmning sparas både energi och klimat.*

Skall vi nå klimatneutralitet är det viktigt att utnyttja våra resurser effektivt. Elsystemet ger möjlighet till det, förutsatt att elproduktionen görs klimatneutral. Även våra andra ledningsburna energiformer, fjärrvärme och gas, har dessa förutsättningar. Vår svenska fjärrvärme är, liksom vår svenska el, koldioxidmager redan idag. Med en allt större andel biogas i rören, har också gasen dessa möjligheter.

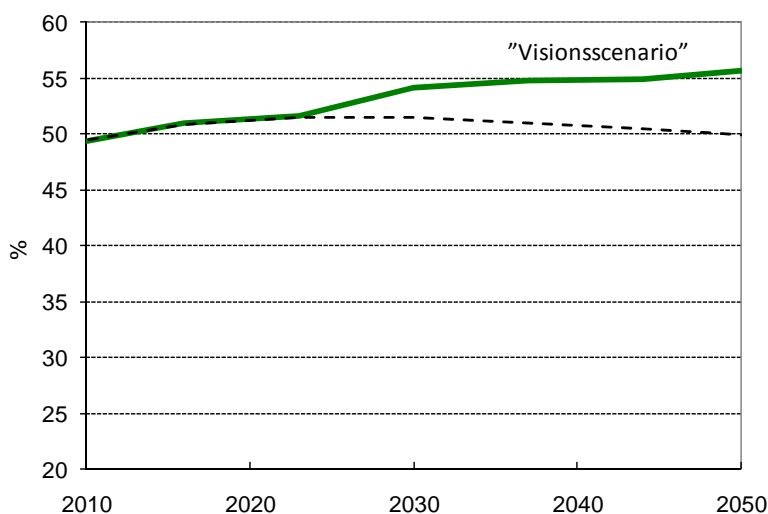
Klimatanalyser inom IPCC, EU och i nordiska/svenska forskningsprojekt visar att det krävs en mycket stor omställning av våra energisystem för att klara det tvågradersmål som IPCC satt upp. Samtidigt vi-

sar dessa analyser entydigt att el – som energibärare och infrastruktur – är central för att kunna nå målet. I allas analyser, globala, europeiska och nordiska/svenska, ökar elen sin betydelse i takt med att klimatmålen skärps. Elsystemen minskar sina utsläpp snabbare andra sektorer och elen kan då användas som en viktig åtgärd i klimatarbetet i dessa sektorer.

El kan alltså bidra till ökad klimatneutralitet på alla marknader, men det är särskilt inom industrin, i transportsektorn och på värmemarknaden som elen ökar sina marknadsandelar när vi gör analyser för Sverige och Norden. Därmed inte sagt att *volymsökningen* av el på dessa marknader blir särskilt stor. Ellösningarna ger nämligen i många fall samtidigt en betydande energieffektivisering. Elfordon minskar energiåtgången per fordon med upp 60-70% och en värmepump ger en energibesparing i samma storleksordning. Men med klimatneutral el innebär ett byte till el från bensin, diesel eller eldningsolja en 100%-ig reduktion av koldioxidutsläppen. Därigenom kan el bli den allra viktigaste klimat- och effektiviseringsåtgärden, både i Sverige och i EU.

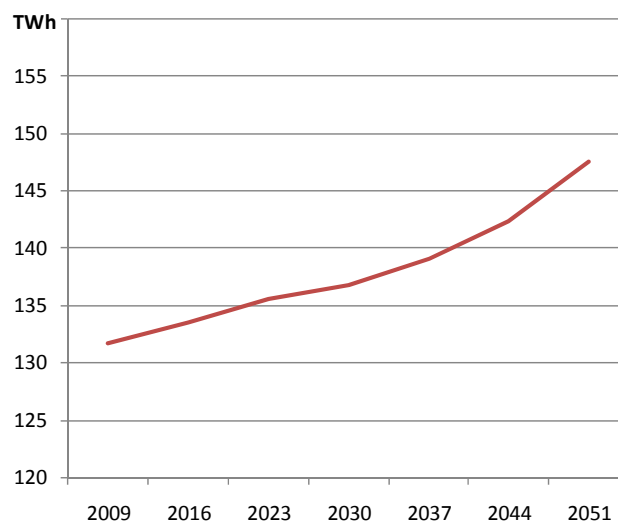
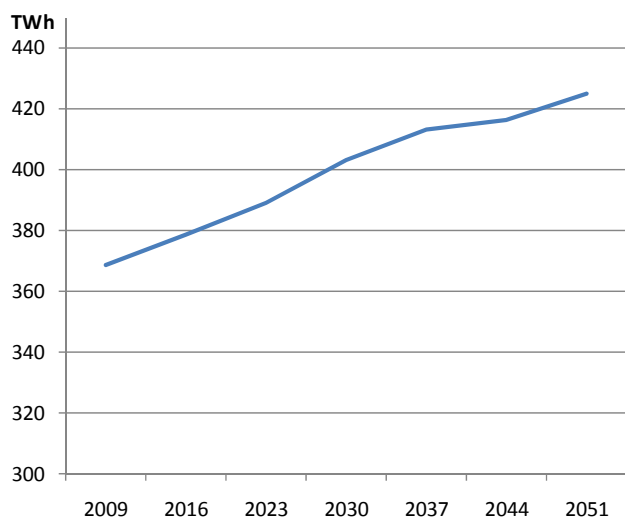
## Ökad marknadsandel för el i industri och byggnader

Våra MARKAL-analyser visar att marknadsandelen för el i industri- och byggnadssektorernas energiom-sättning ökar från dagens knappt 50% till över 55% år 2050 i visionsscenario. Den största drivkraften för denna ökning är att el blir en kostnadseffektiv åtgärd i klimatarbetet. I ett referensscenario, utan ökande klimatambitioner (streckad linje i figuren till höger) ser vi inte samma ökning av marknadsandelen.



## Elanvändningens utveckling i Norden och Sverige

Figuren ovan visar marknadsandelar. Elens marknadsandel ökar. Samtidigt sker en effektivisering i det svenska och nordiska energisystemet, så volymsökningen för el på värmemarknaden (t.ex. byten från elvärme till värmepumpar) och inom industrin, är inte lika tydlig. Tillsammans med den ökning av elanvändningen som en stor introduktion av elfordon inom transportsektorn innebär, visar ändå visionsscenario på en 10-15%-igt ökad elanvändning i Sverige och Norden från idag till 2050. Utvecklingen är något olika i de nordiska länderna, men trenden är densamma i hela Norden.



*Elanvändningen (exkl. nätförluster) i Norden (till vänster) och i Sverige i visionsscenarioet. (Observera att skalorna på de lodräta axlarna inte startar från noll.)*

## **Elens roll i transportsektorn – stor ökning till 2030 och 2050**

Regeringen har i sin klimat- och energiproposition från 2009 formulerat ett mål om en fossilbränsleoberoende transportsektor i Sverige år 2030:

*”Arbetet med att minska transportsektorns klimatpåverkan utvecklas och år 2030 bör Sverige ha en fordonsflotta som är oberoende av fossila bränslen.”*

I propositionen redovisas också olika delåtgärder för att nå detta mål. Bland dessa återfinns:

*”En satsning på förnybara drivmedel och energieffektivare fordonstekniker, elhybridbilar, elbilar ...”*

Elfordon är alltså en viktig del i det framtida transportsystemet.

### **Visionen**

Svensk Energi och Elforsk har, mot bakgrund av formuleringarna i propositionen, formulerat följande vision en fossilbränsleoberoende transportsektor:

**”Elbranschen vill bidra till ett fossilbränsleoberoende transportsystem år 2030. Då skall vi ha en fordonsflotta som tekniskt har möjlighet att drivas med energibärare som är fossilbränsle fria, eller som senast år 2050 kommer att bli klimatneutrala. År 2050 skall transportsektorn vara helt klimatneutral, dvs. fri från utsläpp av växthusgaser som härrör från fossila bränslen.”**

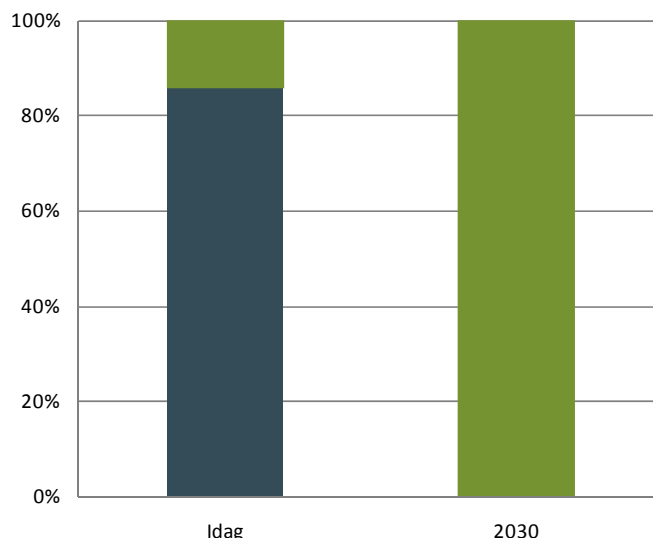
Visionen gör alltså skillnad på:

- en fossilbränsleoberoende transportsektor år 2030 och
- en klimatneutral transportsektor år 2050.

Elbranschen är angelägen om att bidra till en positiv utveckling inom transportsektorn. Genom detta visionsarbete vill man visa på möjliga utvecklingsvägar och identifiera viktiga beslut och ställningstaganden som behövs för att nå målet. Detta avsnitt är en sammanfattning av den underlagsrapport som Profu gjort under våren 2010: *”Ett fossilbränsleoberoende transportsystem år 2030 – underlag till visionsprojekt för Svensk Energi och Elforsk”*. Även om visionen har tagits fram inom elbranschen så är det inte endast elrelaterade trender och åtgärder som tas upp. Det är istället en heltäckande vision, där el är ett av många medel för att nå fram till visionen.

### **En fossilbränsleoberoende transportsektor år 2030 är möjlig**

Vårt huvudscenario tar sin utgångspunkt i att alla fordon år 2030 skall kunna drivas med energibärare som är fossilbränsleoberoende. Våra analyser visar att detta är möjligt. Till fossilbränsleoberoende energibärare räknar vi biodrivmedel (biogas, etanol, metanol, FAME, DME, etc.), el, vätgas eller något annat som är, eller snart kan bli, ickefossilt. Bensin- och dieselprodukter som är framställda från ickefossila källor, t.ex. Fischer-Tropsch diesel baserad på biomassa, är självklart också möjliga, men då måste sådana bränslen finnas tillgängliga i kommersiell skala. Som visionen är formulerad så är det också möjligt att utnyttja energibärare som år 2030 inte är helt fossilbränslefria men som år

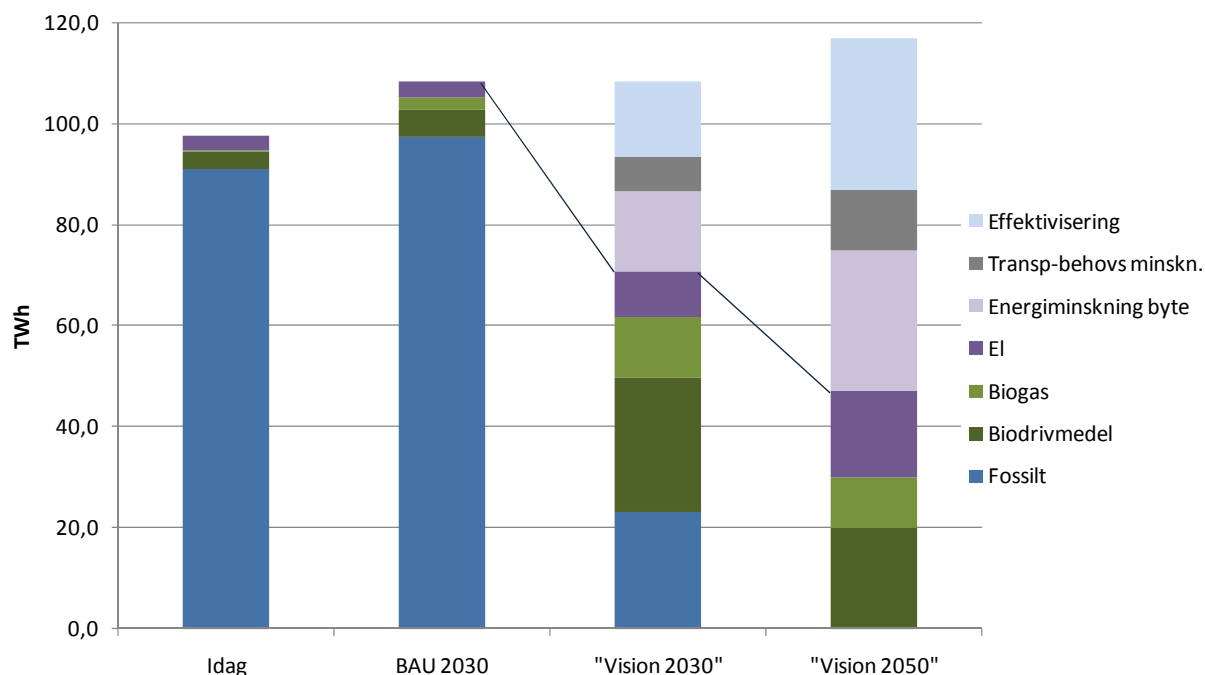


27 *Illustration av visionen om en fossilbränsleoberoende transportsektor år 2030. Idag är vår transportsektor fossilbränsleoberoende till 15-20%,*

2050 bedöms kunna vara det. Ett exempel på detta är fordonsgas. Ett annat exempel är el. Svensk el är nära nog fossilbränslefri och klimatneutral redan idag. Nordisk el blir säkert klimatneutral före 2030, men nordeuropeisk el – som vi utbyter el med – är det inte år 2030, men skall enligt EU vara klimatneutral år 2050.

### Hur kan man nå visionen?

Vårt huvudscenario bygger på att ansträngningarna för effektivisering av fordonen och ansträngningarna att minska själva transportbehoven blir framgångsrika. Dessutom sker stora minskningar av användningen av fossila drivmedel genom byte till biodrivmedel och el samt genom byte av transportslag. Det sammanlagrade resultatet av de åtgärder som inkluderats i scenariot redovisas i de två staplarna till höger i figuren nedan. I figuren redovisas även dagsläget och det antagna referensscenariot utan särskilda insatser år 2030, ”business-as-usual” (BAU).



*Energianvändning i det svenska transportsystemet år 2030 och 2050 i visionsscenariot, med "idag" och "business as usual" (BAU) som jämförelse [TWh/år]. Linjer visar faktisk energiförbrukning.*

Figuren visar alltså energianvändningen inom det svenska transportsystemet. För förståelsen beskriver vi här innebörden av några av figurens begrepp:

- **"Effektivisering"** avser den minskning av energibehovet som åstadkoms genom minskad specifik bränsleförbrukning för fordonen. (Här avses alltså de ytterligare effektiviseringar som sker utöver de som redan ingår i utvecklingen från "idag" till "BAU".) Exempel på detta kan vara effektivare motorer, däck med mindre rullmotstånd och sparsam körning.
- **"Transportbehovsminskning"** utgörs av åtgärder som minskar själva transportbehoven, exempelvis IT-lösningar, bättre logistik och samhällsplanering.
- **"Energiminskning byte"** består av de minskade energibehov som blir följderna av transportslagsbyten och bränslebyten, exempelvis överflyttning från lastbil till tåg, bensin till el (elbilar har avsevärt högre effektivitet) och bensin till diesel (dieslbilarna har högre effektivitet).

De tre rubrikerna Effektivisering, Transportbehovsminskning och Energiminskning byte avser alltså energi som sparats bort jämfört med utgångsläget 2030 (BAU). Den återstående mängden energi (El, Biogas, Biodrivmedel och Fossilt) utgör den resulterande återstående energianvändningen i scenariot.

Huvudscenariot uppvisar enligt figuren ovan en faktisk energianvändning år 2030 för transportsystemet på 65 TWh. Detta kan jämföras med 108 TWh i utgångsläget för samma år (BAU). Det är alltså i stor minskning av energibehovet. Jämfört med dagsläget så uppvisar scenariot en nästan 40 procentig minskning av energianvändningen. Scenariot utgör alltså ett *dramatiskt trendbrott* beträffande energianvändningens utveckling.

Även sammansättningen av den återstående energiförbrukningen utgör ett trendbrott. Fossilbränsleandelen på 90 % i BAU minskar till 42 %. I absoluta tal är minskningen ännu mer imponerande, från 97 TWh/år i BAU till 23 TWh/år i huvudscenariot. Fossilbränsleminskningen, utöver energibehovsminskningarna, åstadkoms genom att användningen av biodrivmedel (flytande och gas) ökar från 8 till 35-40 TWh/år och genom att elanvändningen ökar från 3 till cirka 8 TWh år 2030. Ökningen av el kan tyckas vara liten, men här måste man väga in elens avsevärt högre effektivitet i slutanvändarledet.

De återstående mängderna fossila drivmedel återfinns i transportslagen tunga lastbilar, arbetsmaskiner, flyg och fartyg. Även i dessa grupper sker dock rejäla minskningar av användningen av fossila drivmedel. De minsta procentuella minskningarna återfinns för flyg och fartyg där mindre än hälften av de fossila drivmedlen har bytts ut.

För att sedan nå en klimatneutral transportsektor år 2050, antas en fortsatt ökning av både el och biodrivmedel. Omställning till eldrift för lättare fordon, såsom personbilar, lätta lastfordon och arbetsmaskiner kan t.o.m. komma att accelerera till 2050. Nivåer på cirka 15 TWh för el i den svenska transportsektorn är möjliga.

Energianvändningen minskar markant när vi går från BAU-scenariot till visionsscenarioet. Minskningen förklaras alltså med effektivisering, transportbehovsminskningar och transportbyten. Den främsta orsaken till att exempelvis lätta vägfordon (främst personbilar) minskar mycket är dels den kraftiga effektiviseringen här, dels den relativt stora introduktionen av mycket energieffektiv eldrift.

I ett alternativt scenario utgår vi från att man blir ännu mer framgångsrik med effektiviseringsansträngningarna och dämpningen av transportbehoven. Då behövs något mindre ansträngningar i form av byte till biodrivmedel och el om man vill nå ned till samma nivå på de återstående mängderna fossila drivmedel år 2030 som i huvudscenariot.

### ***Elens roll i transportsektorn år 2030***

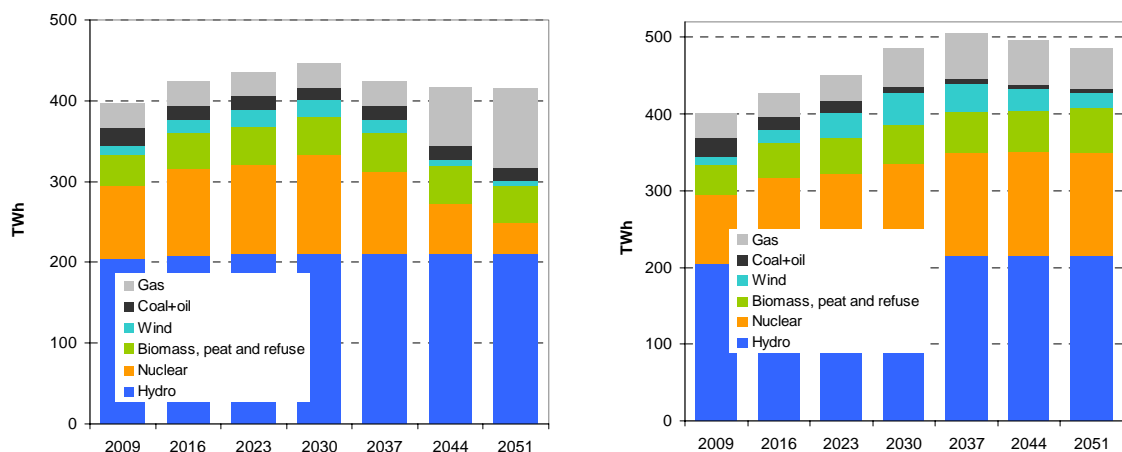
El får en ökad roll för fordonsdrift i visionsscenarierna. Utöver den el som används för järnväg/bantrafik, som ökar med drygt 15 % jämfört med idag, så sker el-introduktionen främst i personbilar. Eldrift införs så att den motsvarar ca 40 % av den återstående mängden energibehov i personbilar, efter effektivisering m.m. Detta måste betraktas som en mycket kraftig introduktion, men till följd av elens mycket höga energieffektivitet så blir det ändå jämförelsevis små mängder el. Elanvändningen ökar från 3 till cirka 8 TWh. Vi räknar med att bensinbilar drar cirka tre gånger mer energi än elbilar, medan dieselbilar drar 2,5 gånger mer energi. I dessa förhållanden ingår den el som förbrukas för uppvärmnings- och kyländamål i fordonen. I dagsläget är skillnaden ännu större, men eftersom vi räknar med en kraftig effektivisering av bensin- och dieselfordonen till år 2030 i visionsscenarierna och eftersom effektiviseringspotentialen är mindre för el, till följd av den redan mycket höga effektiviteten, så minskar elens fördel något. En stor del av ”nyttan” med el redovisas i figuren ovan under rubriken ”Energiminskning byte”.

## All ny kraft som byggs i Norden är koldioxidfri

Vindkraft, vattenkraft, biobränslekraftvärme och kärnkraft är de kraftslag som byggs ut i Norden när EU:s energi- och klimatpaket införs. Den fossilbränslebaserade produktionen reduceras kraftigt redan till 2020. Från mitten av analysperioden, kring 2030, blir CCS-tekniken kommersiellt tillgänglig. I Norden byggs då viss gaskondens med CCS, bl.a. i Norge. På kontinenten används CCS i större omfattning.

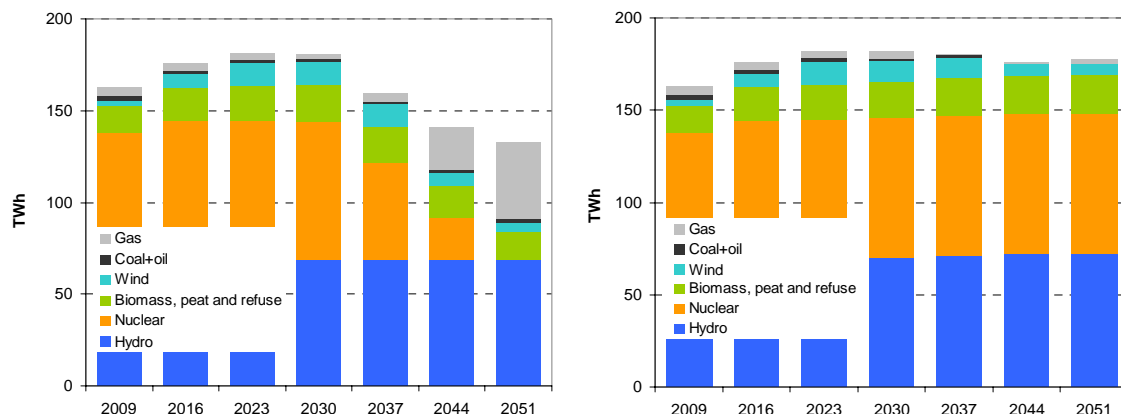
Utvecklingen i referensfallet (se kapitel 4 nedan) skiljer sig från utvecklingen i visionsscenarioet, genom en större nordisk elproduktion (och en större export – se nedan) och genom att produktionen är klimatneutral från 2030 (och nära nog klimatneutral redan modellåret 2023 – se resonemanget ovan).

Utvecklingen på lång sikt efter 2030 är naturligtvis tämligen känslig för vilka antaganden man gör i beräkningarna. Beroende på vilka kostnadsantaganden man gör för till exempel CCS så inverkar detta på konkurrensen gentemot förnybart. I visionsscenarioet blir CCS lönsamt (såväl i Norden som på Kontinenten) vilket därmed är ett skäl till varför förnybar elproduktion avtar något efter modellår 2037. Den slutliga fördelningen mellan CCS, förnybar elproduktion och ny kärnkraft är dock relativt känslig för vilka antaganden man gör kring den tekniska utvecklingen eller fossilbränsleprisutvecklingen (jämför med känslighetsanalysen längre fram i rapporten) och därmed den framtida kostnadsbilden för dessa kraftslag. Den framtida energipolitiska agendan (vid sidan om de ambitiösa klimatmål vi förutsätter här) spelar naturligtvis också en viktig roll för de val som görs.



*Elproduktion i Norden i referensscenariot (vänster) och visionsscenarioet. En del av elproduktionen exporteras till Kontinenten. Från modellår 2030 är gaskraftverken utrustade med CCS i visionsscenarioet.*

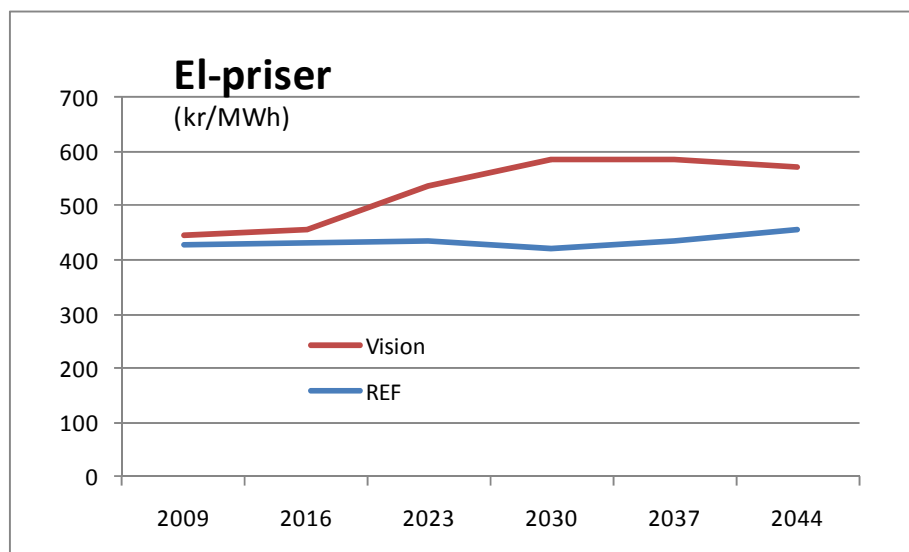
Ser vi till den svenska elproduktionen, skiljer sig utvecklingen i referensfallet från utvecklingen i visionsscenarioet, på samma sätt som för den nordiska. Samtidigt accentueras skillnaden av att visionsscenarioet innehåller en reinvestering i svensk kärnkraft.



Elproduktion i *Sverige* i referensscenariot (vänster) och visionsscenario. En del av elproduktionen exporteras. Från modellår 2030 är gaskraftverken utrustade med CCS i visionsscenario.

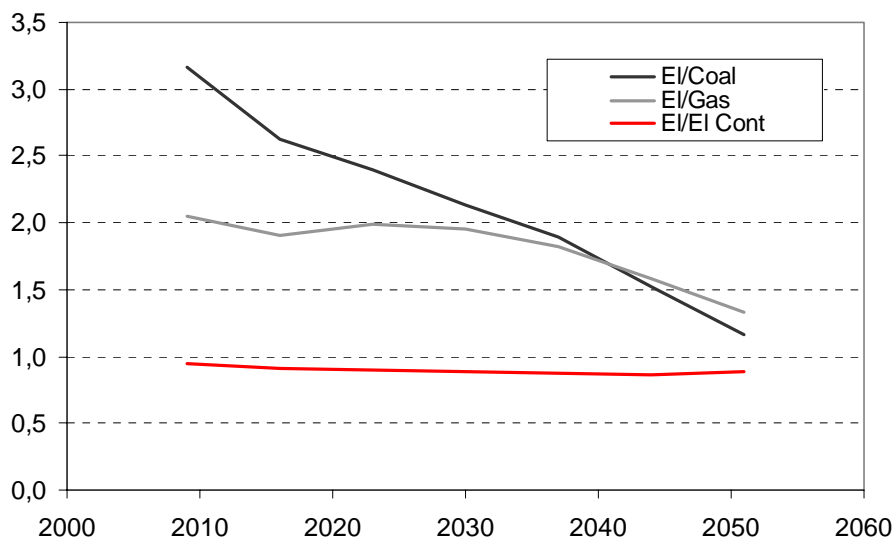
## Prisutveckling för el – i produktions- och konsumtionsledet

MARKAL-analyserna indikerar att produktionspriset (systempriset) för el (eg. marginalkostnaden) stiger under perioden t.o.m. 2030 i visionsscenario. Skälet är främst de ökande priserna på utsläppsrätter, som orsakas av (våra antaganden om) de allt tuffare globala klimatkraven. Prisökningen dämpas dock av att marginalproduktionen i elsystemet (som är prissättande) blir alltmer ”okänslig” för utsläppsrättspriserna eftersom den blir alltmer klimatneutral. Vid modellåret 2030 är nordisk el helt klimatneutral och då ser vi också av figuren nedan att elprisökningen i visionsscenario avstannar. Vi kan säga att elproduktionen då är ”robust” gentemot ytterligare klimatkrav. I referensscenariot, som inte omfattar ytterligare klimatkrav utöver dagens, ligger elpriset relativt konstant.



Produktionspriset (systempriset) för el (eg. marginalkostnaden) i visionsscenario och referensscenariot. Realprisutvecklingen anges i figuren.

De fossila bränslena tappar sin konkurrenskraft i takt med att utsläppsrättspriset stiger. Figuren nedan visar hur prisrelationen mellan el och kol respektive naturgas förändras för en stor användare (t.ex. en stor processindustri). El är idag tre respektive två gånger så dyrt som el, men denna prisrelation minskar under perioden och är näst intill ett år 2050. Konkurrenskraften för el ökar alltså under perioden och det resulterar också till att el ökar sin marknadsandel inom industrin och även för andra användare.

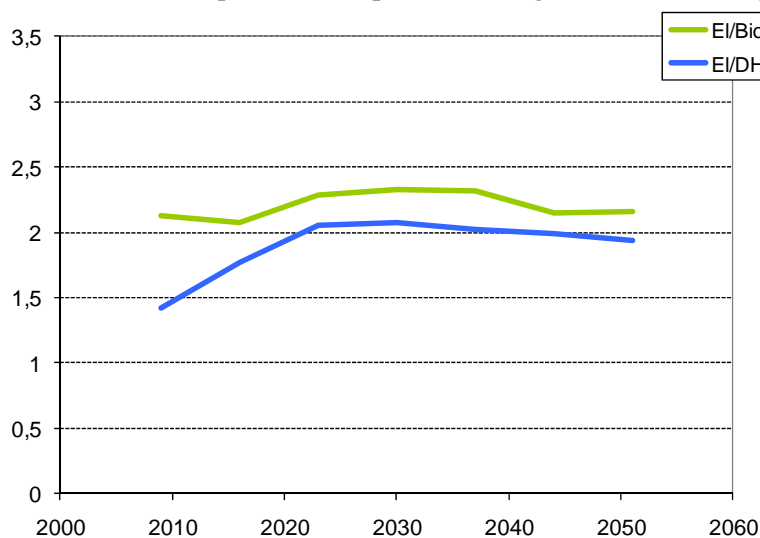


Prisrelationen mellan el och kol (svart linje) respektive el och naturgas (grå) för en stor användare.

Röd linje visar prisrelationen mellan nordisk el och el producerad på Kontinenten.

Röd linje i figuren ovan visar prisrelationen mellan nordisk el och el producerad på Kontinenten. Av den kan vi se storleken på drivkraften för (netto)handeln mellan Norden och Kontinenten. Vi kan se att det nordiska systempriset (räknat som ett medelårspris) konsekvent ligger under det kontinentala systempriset under hela perioden fram till 2050. Handeln – netto – bör därmed ske som export från Norden. Fram till omkring 2030 har vi i Norden komparativa fördelar för att bygga ut ny kraft baserat på bland annat förnybart och kraftvärme. Dessutom tillåter vi nya kärnkraftreaktorer i Norden men ej i Tyskland/Polen i modellbeskrivningen. På riktigt lång sikt, efter 2030 blir CCS ett allt viktigare inslag i kraftproduktionen på Kontinenten men även i Norden. Även här antar vi vissa komparativa fördelar för nordisk CCS (till exempel höga verkningsgrader i kraftvärmedrift och relativt sett billigare gas i Norge). Vissa av dessa antaganden som är relaterade till CCS är dock tämligen osäkra. Detta påverkar därmed utfallet var ny CCS-kraft byggs på riktigt lång sikt och följaktligen också skillnaden i systempriset på el mellan Norden och Kontinenten.

Prisrelationen (eg. marginalkostnadsrelationen) mellan el och biobränsle (flis) respektive el och fjärrvärme för en stor användare, påverkas dock i den andra riktningen. El tappar i konkurrenskraft. Gentemot fjärrvärmens (blå linje i figuren nedan) sker det främst under den närmaste tioårsperioden – bl.a. på grund av ytterligare kraftvärmeexpansion - för att sedan ligga konstant på en prisrelation där produktionspriset (marginalkostnaden) för el är dubbelt så högt som produktionspriset för fjärrvärme. Konsumentprisrelationen kan dock vara en annan än den figuren visar, då prissättningen till kund också inkluderar andra pris/kostnadsposter än marginalkostnaden för produktion.



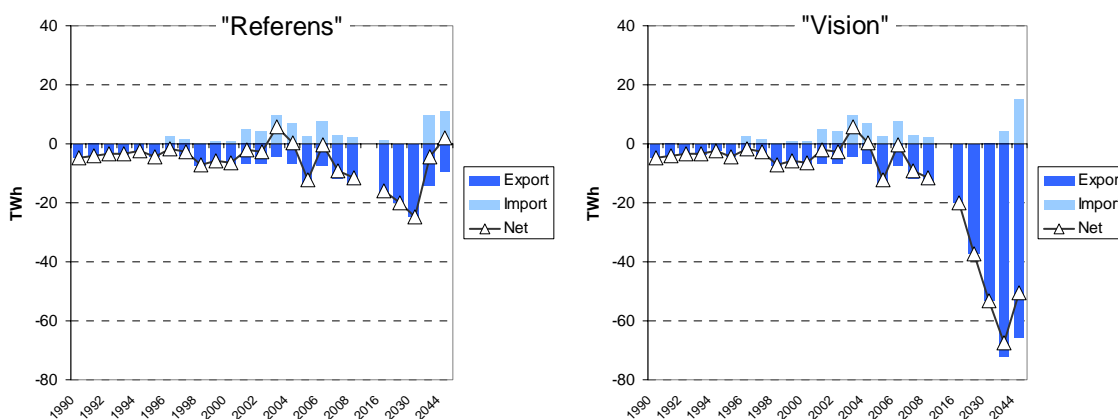
Prisrelationen mellan el och bibränsle (flis) respektive el och fjärrvärme för en stor användare i Sverige.

## Nordisk elexport hjälper EU att gå mot ett klimatneutralt EU

De positiva förutsättningar som Norden har att producera fossilfri el kan hjälpa EU att gå mot ett klimatneutralt samhälle genom export av el från Norden till resten av EU.

MARKAL-analyserna visar på en ökad drivkraft för växande elexport från Norden till Kontinenten redan i referensfallet (utan ökande klimatambitioner). I visionsscenarioet ökar exporten mycket mer, och når nivåer långt över dagens. Det allt högre utsläppsriktpriset för koldioxid och våra nordiska stödssystem för förnybar kraft, gör investeringar i både ny förnybar kraft och ny kärnkraft lönsamma. Härigenom får vi ett överskott av CO<sub>2</sub>-fri kraft som vi kan bidra med i klimatarbetet genom att sälja den till våra grannländer i Nordeuropa. Runt år 2030 kan nettoexporten närma sig nivåer upp emot 60 TWh/år.

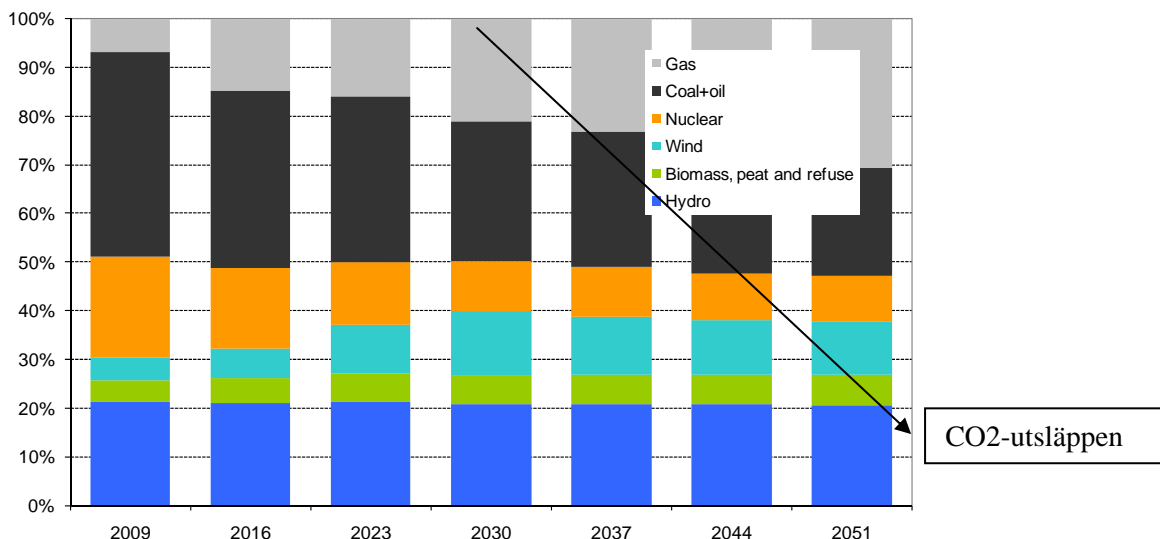
I modellberäkningarna uppgår kapaciteten i de nya överföringsförbindelserna (det vill säga utöver det som finns på plats idag) från Norden till Tyskland och Polen till närmare 10 GW efter 2030. I referensfallet är investeringar i ny överföringskapacitet endast mycket begränsade, omkring 0,5 GW. Motsvarande kapacitet idag ligger på omkring 3 GW (viss skillnad beroende på i vilken riktning överföringen sker).



Nordisk elexport och elimport till och från Kontinenten (främst Tyskland och Polen). Historiska värden för 2000-2008 samt modellresultat för perioden därefter.

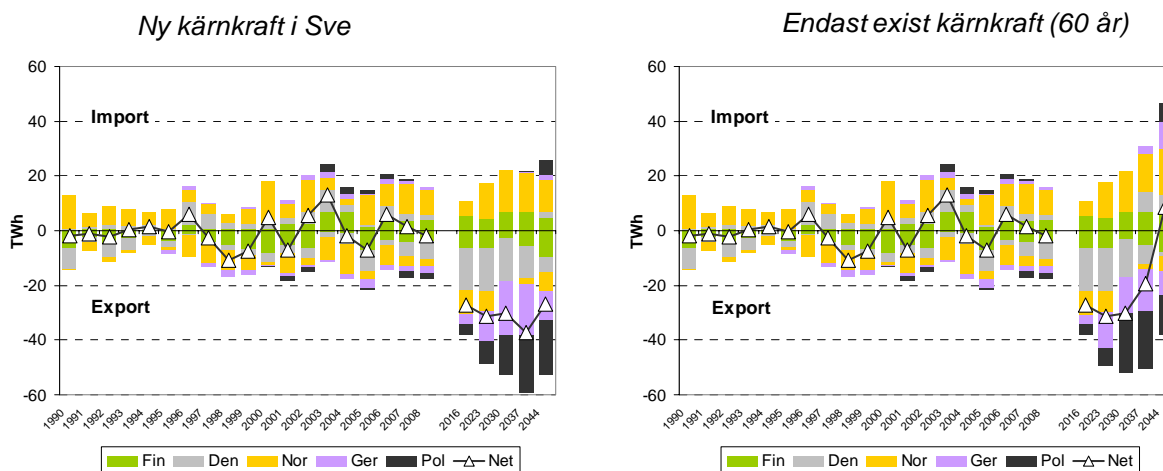
Den avgörande drivkraften för den ökande elexporten ut från Norden är naturligtvis skillnader i elpris mellan regionerna. Denna prisdifferens tenderar att öka i takt med ett ökande CO<sub>2</sub>-pris. Skillnaden i produktionskostnad mellan nordisk effektiv, CO<sub>2</sub>-mager kraftproduktion och den kontinentala (något) mer CO<sub>2</sub>-intensiva produktion som återfinns på marginalen, ökar som funktion av CO<sub>2</sub>-priset. Därmed ökar också drivkraften för handel och en allt större volym blir lönsam att exportera, i synnerhet mot slutet av beräkningsperioden då CO<sub>2</sub>-priset antas vara mycket högt.

Figuren nedan visar att den samlade elproduktionen i Nordeuropa (Norden plus Tyskland och Polen) enligt MARKAL-analysen, till hälften fortfarande är baserad på fossila bränslen år 2050, dock i stor utsträckning försedd med CCS. Det är dock kostnadseffektivare, under perioden fram till att även tysk och polsk el blir klimatneutral år 2050, att ersätta delar av den tyska och polska *marginalproduktionen* med nordisk import, än att forcerat göra denna "topplast" klimatneutral. Detta driver också handeln.



Elproduktionen i Nordeuropa i visionsscenarioet, angiven – för de olika kraftslagen - som andelar av total produktion. Efter modellåret 2023 blir CCS allt vanligare och 2050 är all gas- och kolkraft försedd med CCS. Utvecklingen för CO<sub>2</sub>-utsläppen har schematiskt markerats med en linje i figuren.

Sverige svarar för upp emot hälften av exporten från Norden, men elhandeln är ingalunda en envägs-handel. Under perioder med lägre priser i våra grannländer och på Kontinenten köper vi el, medan vi säljer när vår produktionskostnad är lägre än grannarnas. Utan reinvestering i svensk kärnkraft kommer vi dock att bli alltmer beroende av import för vår elförsörjning, visar diagrammen nedan, och kring 2040 blir vi nettoimportörer.



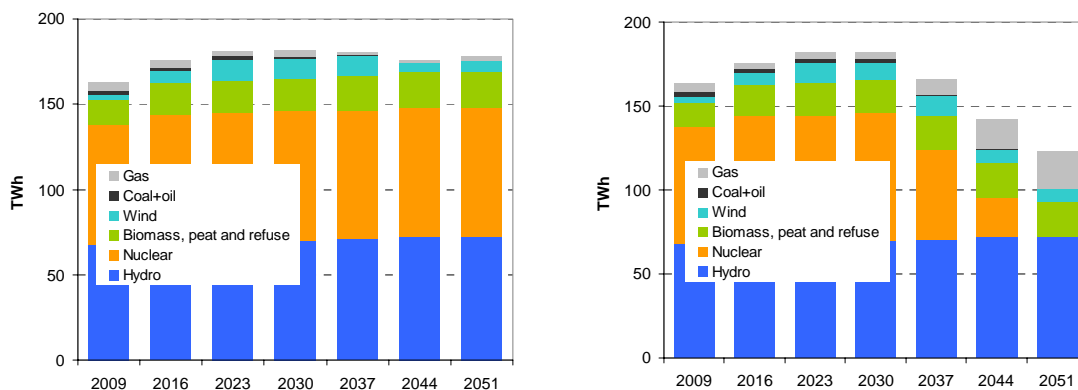
Svensk elexport och elimport till och från våra grannländer i visionsscenarioet, med (vänster) och utan reinvestering i svensk kärnkraft. Historiska värden för 2000-2008 samt modellresultat därefter.

(I MARKAL-analyserna har vi inte hanterat ”ökad elhandel”, sådan att det – av just eltillgångsskäl - sker en ökning av produktionen i svensk elintensiv exportindustri. Vi har endast med alternativet av direktexport av elen i MARKAL, men i ett vidgat perspektiv kan man naturligtvis se en export av elen som insatsvara i svenska exportprodukter.)

## Betydelsen av svensk kärnkraft

Visionsscenarioet omfattar en möjlighet till reinvesteringar i svensk kärnkraft upp till samma kapacitet som vi har idag. MARKAL-analyserna visar på lönsamhet för en sådan reinvestering. Att priset på utsläppsrätter stiger bidrar till lönsamheten.

Jämförelsen mellan resultaten från referensscenariot och visionsscenarioet ovan visar tydligt att ett beslut om att reinvestera i kärnkraft också är ett beslut om vårt oberoende av el. Om vi inte väljer att reinvestera i kärnkraft, byggs stor del av ersättningskraften inte i Sverige. Det framgår tydligt av diagrammen nedan, som visar svensk kraftproduktion i visionsscenarioet med (till vänster) och utan reinvesteringar i kärnkraft.



*Elproduktion i Sverige i visionsscenarioet (vänster) och ett alternativt visionsscenario utan möjlighet till reinvestering i svensk kärnkraft.*

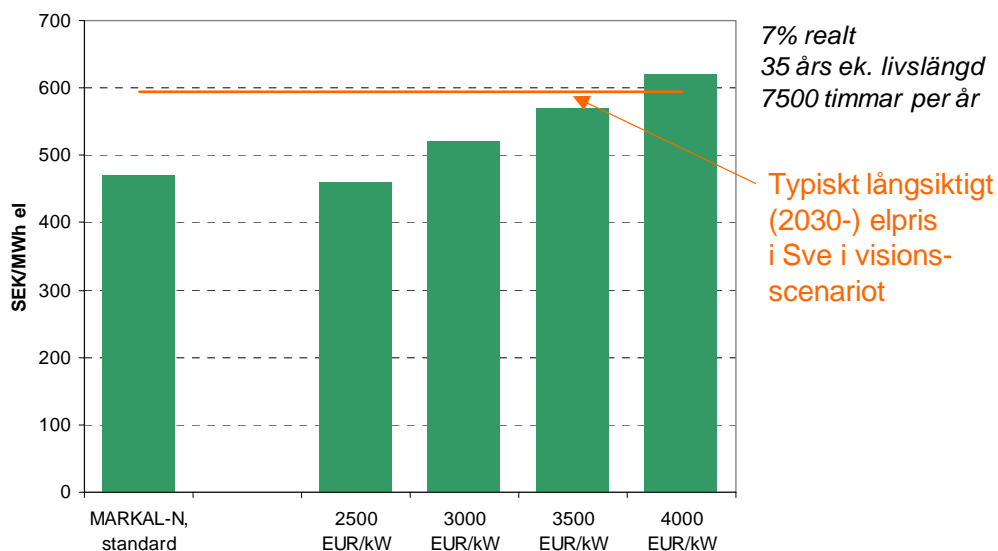
Det är då, om vi inte reinvesterar i kärnkraften, mer lönsamt för det nordiska/nordeuropeiska elsystemet att bygga ersättningskraften i våra grannländer, åtminstone stora delar av den. Exempelvis expanderar då gaskraft med CCS i Norge i MARKAL-analyserna. Förnybar kraft, främst vindkraft, skulle naturligtvis kunna konkurrera med gas/kol-kraftanläggningar med CCS, men för det krävs att stödsystemen för förnybar kraft förlängs efter 2030. I visionsscenarioet – som är ett klimatscenario – har vi inte antagit att så sker. I en känslighetsberäkning har vi dock valt att ha kvar det svenska elcertifikatsystemet på samma nivå även efter 2035. Därmed bibehålls följaktligen produktionsnivån för både biobränslekraft och vindkraft även efter modellår 2037, vilket gör att den totala svenska produktionen är något högre i detta fall än vad som visas i figuren ovan (till vänster). Även teknisk utveckling med minskande investeringskostnader över tiden för ny teknik skulle kunna få motsvarande effekt på beräkningsutfallet. I ett sådant scenario skulle därmed till exempel ny vindkraft kunna stå på egna ben även efter det att elcertifikatsystemet upphört, det vill säga efter 2035. Vi har dock i denna analys inte närmare studerat utfallet av en sådan kostnadsutveckling.

Att skärpa klimatkraven skulle däremot inte ge de förnybara kraftslagen någon nämnvärd fördel gentemot fossilbränslekraftanläggningar med CCS, eftersom just CCS-utrustningen gör även dessa (i det närmaste) klimatneutrala.

## Antaganden om kärnkraftens investeringskostnad

I nuläget råder stora osäkerheter angående kostnadsläget för framtida ny kärnkraft. Citigroup, till exempel, uppskattar i en studie från 2009 med anledning av de brittiska planerna på ny kärnkraft ett kostnadsintervall på ca 2500 till 3500 EUR/kWh el. Med de antaganden vi gör här på kalkylränta (7% realt), ekonomisk livslängd (35 år), utnyttjningstid (ca 7500 timmar) samt bränsle- och D&U-kostnader så motsvarar detta omkring 45-60 öre/kWh el (se figuren nedan). Andra relativt färskare bedömningar nämner såväl 35 öre/kWh (ECON-Pöyry "Framtidens energilösningar", 2008) som ca 70 öre/kWh (Svenska Naturskyddsföreningen, "Kärnkraftens kostnader", 2009). En färsk redovisning av kostnaderna för den femte finska reaktorn ligger på omkring 55 öre/kWh (5,3 miljarder EUR enligt Ny Teknik, mars 2010, samt övriga antaganden enligt vår modellbeskrivning). Våra antaganden i denna studie ligger på strax under 50 öre/kWh (vi har här både vägt in antaganden som gjordes under NEP-projektets andra fas samt Citigroups bedömningar från 2009).

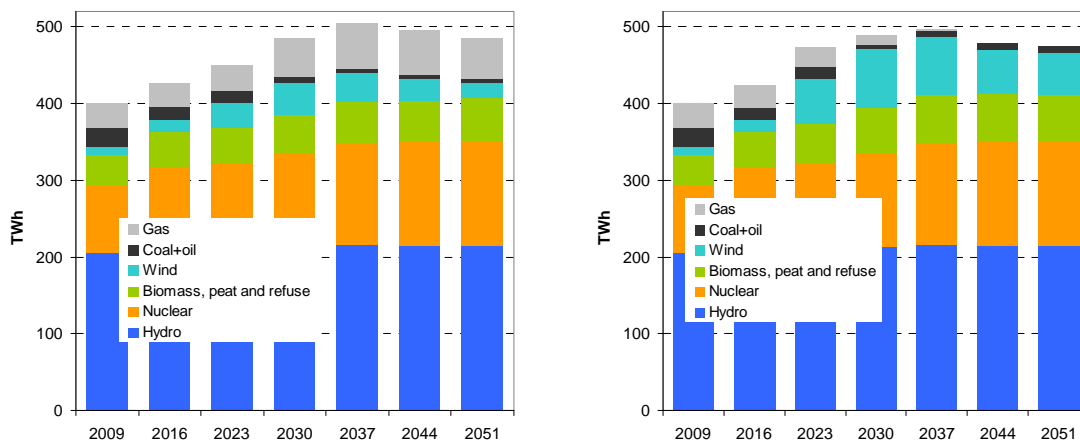
Det som är avgörande i beräkningarna för om ny kärnkraft blir lönsam eller ej är naturligtvis hur systempriset på el relaterar till de totala produktionskostnaderna. Ett typiskt nordiskt systempris på el hamnar kring mellan 55 och 60 öre/kWh i visionsscenarioet (ännu högre om vi räknar med stigande fossilbränslepriser). Detta gör att givet övriga antaganden så blir ny kärnkraft generellt lönsam även vid relativt höga investeringskostnader. Det är först vid en kapitalkostnadsnivå på närmare 40000 SEK/kW el som ny kärnkraft får svårt att konkurrera (se figuren). I det läget blir dock systempriset på el i sin tur något högre eftersom kostnaden för ny elproduktion på marginalen är något högre än i de fall där ny kärnkraft är lönsam (alternativa produktionsslag får tas i bruk alternativt minskad export/ökad import).



*Antagna produktionskostnader för ny kärnkraft vid olika investeringskostnader (standardantagandet för Markal-Nordic-modellen motsvaras av stapeln till vänster)*

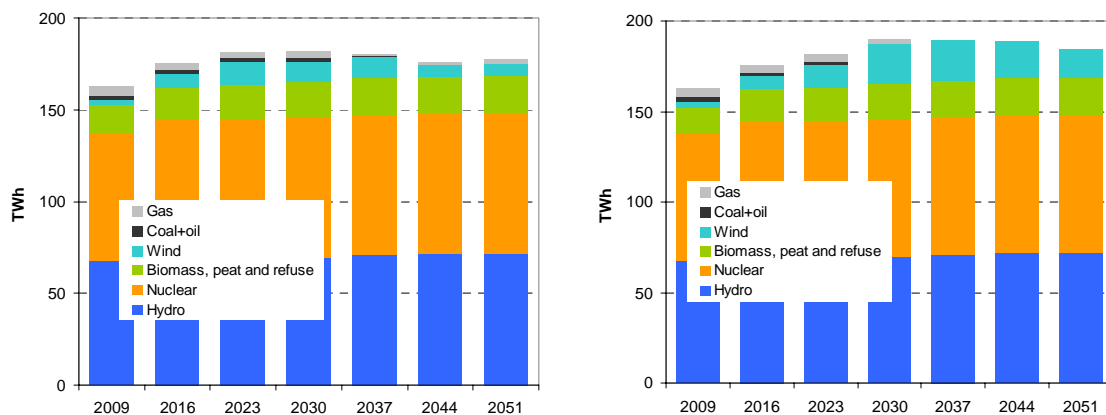
## Visionsscenarioet - men med höga fossilbränslepriser

I visionsscenarioet har vi antagit en måttlig prisstegring på olja, kol och naturgas. I vissa andra arbeten, t.ex. Eurelectrics studie om en klimatneutral europeisk el, har man gjort antaganden om en kraftigare prisstegring på fossila bränslen till 2050 (se om dessa i avsnitt 2 ovan).



*Elproduktion i Norden i visionsscenarioet, med måttlig prisstegring (vänster) och med kraftigare prisstegring (höger) på fossila bränslen. En del av elproduktionen exporteras till Kontinenten.*

De höga fossilbränslepriserna gör fossilbränslebaserad kraftproduktion allt mindre lönsamt. Förnybara kraftslag och kärnkraft konkurrerar ut den gas- och kolbaserade produktionen. Detta syns tydligast i figuren över nordisk elproduktion ovan, men påverkar även svensk elproduktion något. Observera att det är samma (stigande) utsläppsriktpris i båda fallen i figurerna; det är alltså bara fossilbränslepriset som skiljer.



*Elproduktion i Sverige i visionsscenarioet, med måttlig prisstegring (vänster) och med kraftigare prisstegring (höger) på fossila bränslen. En del av elproduktionen exporteras till Kontinenten.*

## Kan en global klimatpolicy och kraftigt stigande fossilbränslepriser gå hand i hand?

Ett scenario med ett högt (globalt) pris på utsläppsrätter och ett kraftigt stigande pris på fossila bränslen på de internationella marknaderna, ger starka drivkrafter för en utveckling mot en mycket stor andel förnybar energi i vårt el- och energisystem. Den förnybara energin blir då lönsam utan särskilda stödsystem. Även kärnkraftens lönsamhet ökar (liksom lönsamheten för energieffektiviseringar). Elproduktion med kol och naturgas kan inte konkurrera, även om de utrustas med CCS.

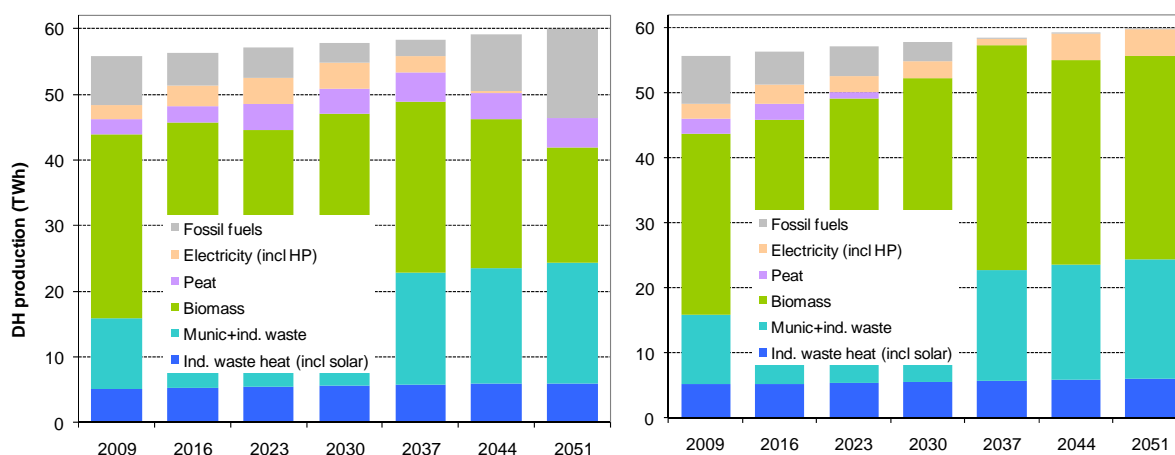
Som vision är naturligtvis en utveckling av detta slag mycket intressant. Kombinationen av höga utsläppsrättspriser och höga fossilbränslepriser är dock inte trivial. Tanken om ett global klimatöverenskommelse, med gemensamt mål om att minska växthusgasutsläppen radikalt, är ju också en tanke om att minska användningen av de fossila bränslena. Visserligen kan CCS bidra till att fossil koldioxidutsläpp fångas in, men IPPC:s analyser visar att det också krävs en minskning av användningen av fossila bränslen minskar, sjunker priset – det stiger inte. Det är dock trivialt.

Skall vi få kraftigt stigande fossilbränslepriser samtidigt som priset på utsläppsrätter skjuter i höjden, måste det finnas andra faktorer som påverkar bränslepriset (utöver klimatkravet). Exempelvis skulle *tillgången* på kol och naturgas kunna komma att minska i snabb takt. Med dagens kunskap om kända reserver av kol och naturgas, finns dock inget som talar för det. *Tillgängligheten* skulle dock kunna minska snabbt, t.ex. av politiska skäl. Om det vet vi inget idag.

I denna studie har vi dock inte gjort några djupare analyser av hur prisrelationen mellan utsläppsrätter och fossilbränslepriser kan komma att utvecklas eller av sannolikheten för en framtid med *samtidiga stora prisökningar* på utsläppsrätter och fossilbränslepriser, utan vill med dessa rader bara peka på problematiken.

## Fjärrvärmern

Även fjärrvärmeproduktionen i Sverige blir helt klimatneutral, långt före 2050. Redan modellåret 2023 visar MARKAL-analysen för visionsscenarioet att all svensk fjärrvärme är nära nog helt klimatneutral. Modellåret 2030 är den det. Utvecklingen i referensscenariot är något annorlunda.

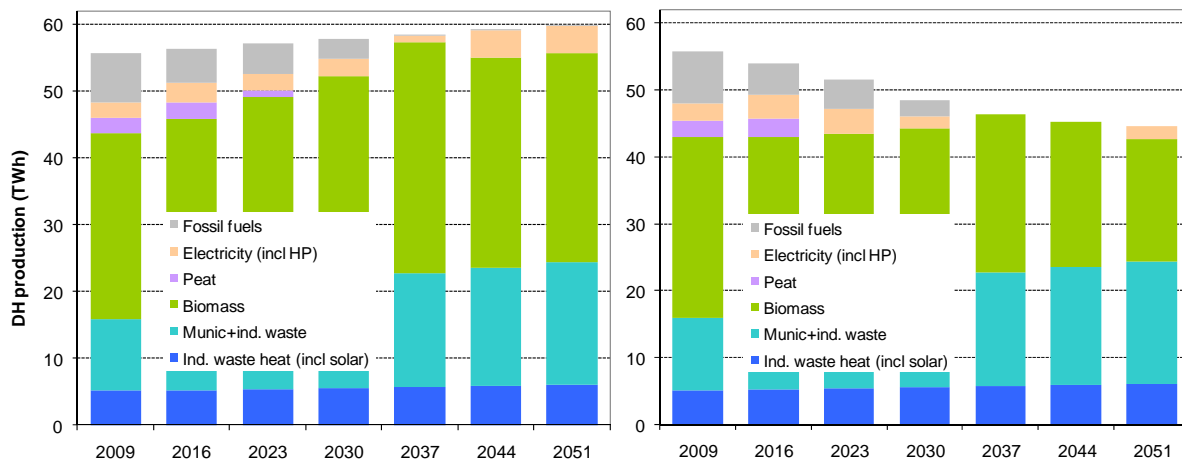


Fjärrvärmeproduktion i Sverige i referensscenariot (vänster) och visionsscenarioet (höger).

Det betyder att ett byte till fjärrvärme efter 2023/2030 kan vara en viktig klimatåtgärd, av samma skäl som ett byte till elvärme är det. Vi ser också att fjärrvärmeanvändningen ökar i visionsscenarioet.

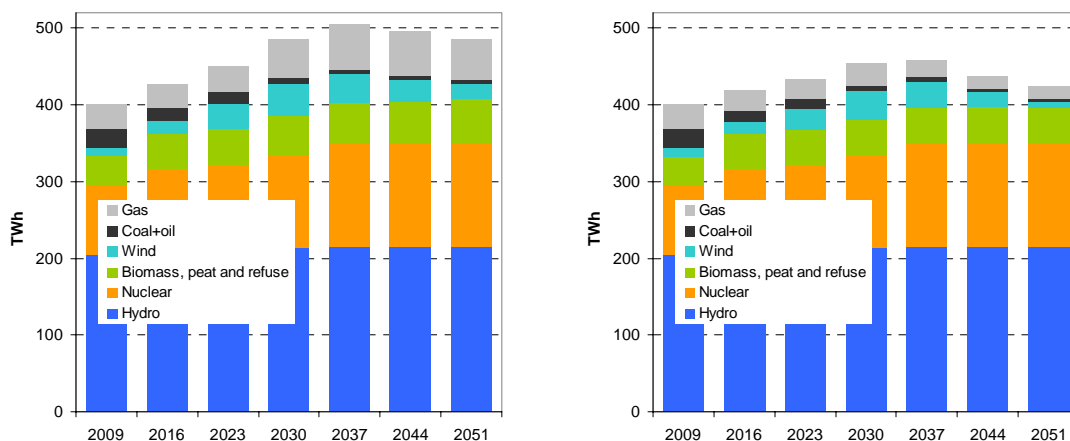
## Energieffektivisering

I ett alternativt scenario har vi analyserat effekten av om ett (eller flera) effektiviseringsprogram (för värmesparande) införs parallellt med ökande klimatkrav. Det skulle ha stor effekt på fjärrvärmes, som då istället skulle minska. Däremot skulle ett sådant effektiviseringsprogram inte ge några nämnvärda klimateffekter, eftersom fjärrvärmes redan är klimatneutral.



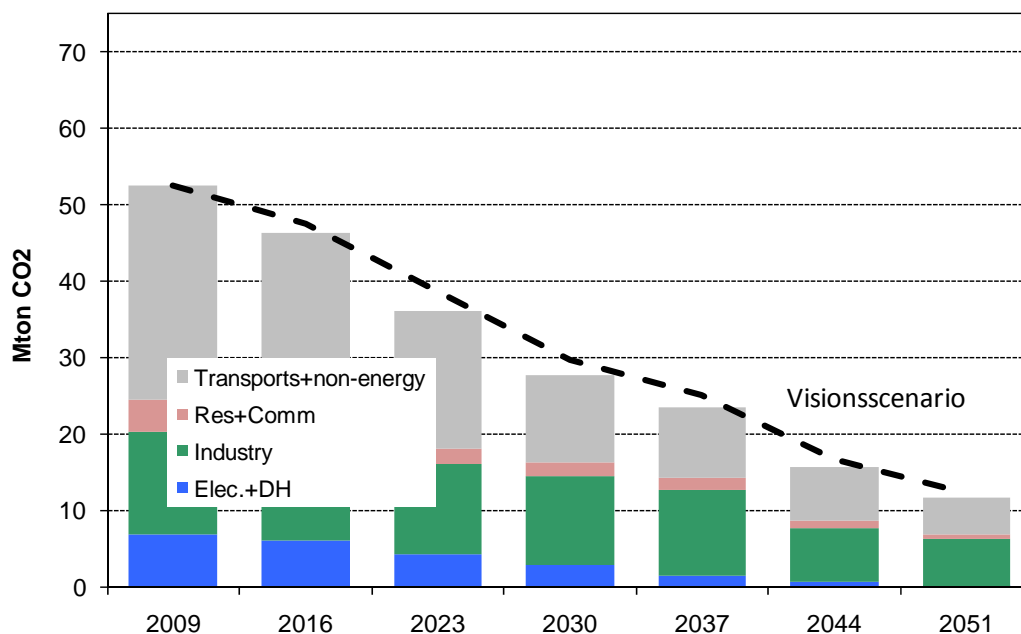
*Fjärrvärmeproduktion i Sverige i visionsscenariot (vänster) och i ett alternativt visionsscenario som också inkluderar politiska program för energieffektivisering.*

Om politiska program för energieffektivisering också införs för el, får vi naturligtvis också en minskad användning. I analyserna har vi endast analyserat effekten av en måttlig effektiviseringsambition, vilken illustreras i figurerna nedan.



*Elproduktion i Norden i visionsscenariot (vänster) och i ett alternativt visionsscenario som också inkluderar politiska program för energieffektivisering.*

Den samlade påverkan på koldioxidutsläppen av dessa effektiviseringsprogram (på värme-, el- och transportmarknaderna) är dock mycket små. Figuren nedan visar detta. I staplarna anges koldioxidutsläppen i det alternativa visionsscenarioet med effektiviseringsprogrammen, medan den streckade linjen visar utsläppsnivån i visionsscenarioet (utan effektiviseringsprogram). Vi kan se vissa skillnader t.o.m. 2030, men mindre därefter.



Koldioxidutsläppen i Sverige i visionsscenario (streckad linje) och i ett alternativt visionsscenario som också inkluderar politiska program för energieffektivisering (staplar).

### Kort diskussion om el-effektiviseringen

Såväl kärnkraft, förnybar kraftproduktion som gas/kol-kraftanläggningar med CCS ger alltså en elproduktion som är koldioxidneutral. Vi har ovan konstaterat att nordisk el kan bli koldioxidneutral redan 2020 och att EU har satt som mål att europeisk el skall bli klimatneutral 2050. En viktig åtgärd för att nå dessa mål är energieffektivisering.

Redan själva omställningen av elproduktionen, från kondenskraft till exempelvis bibränslekraftvärme och vindkraft, leder till en mycket stor effektivisering i produktionsledet. Kolkraft med stora energiförluster byts mot effektiv bibränslekraftvärme med små förluster vid samtidig el- och värmeproduktion. Samtidigt bidrar naturligtvis effektiviseringen i konsumtionsledet till omställningen. Vi har redan nämnt värmepumpar och elfordon som två mycket viktiga exempel. Även traditionellt energisparande gör nytta vid omställningen. Energieffektivisering bidrar alltså till att reducera både klimatpåverkan och energikostnaderna på vägen till klimatneutralitet i visionsscenario.

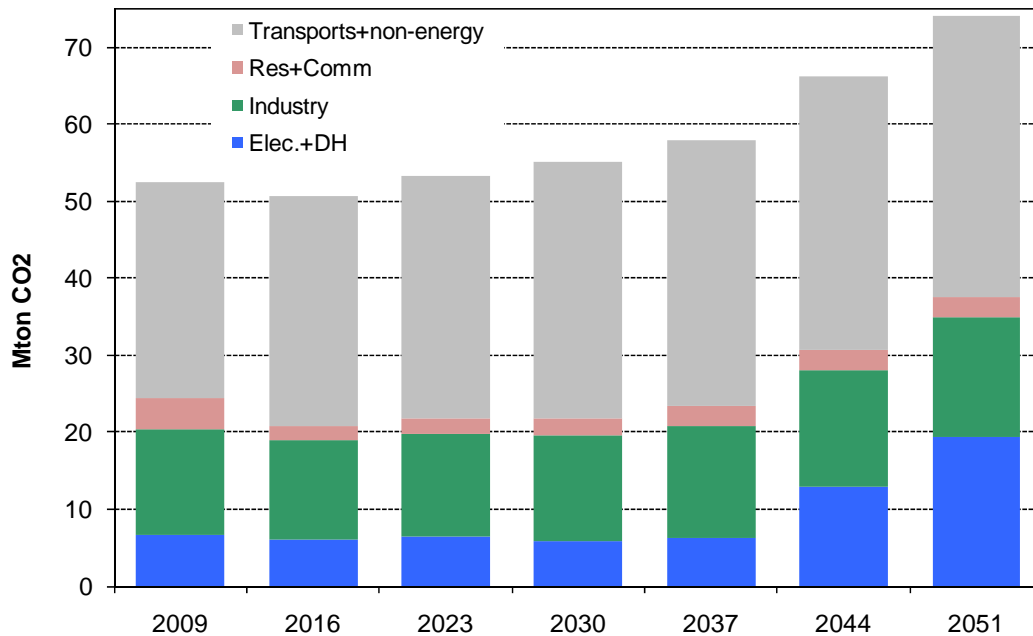
Men när vi väl har en koldioxidneutral elproduktion, gör effektiviseringsåtgärderna inte längre samma klimatnytta. Att då gå in med politiska effektiviseringsprogram gör inte alls samma klimatnytta. Att reducera el- eller fjärrvärmeanvändningen av klimatskäl, när el och fjärrvärme gjorts klimatneutrala, är utan klimatpåverkan. Däremot kan naturligtvis energieffektivisering alltid motiveras av andra skäl, exempelvis de ekonomiska.



## 4. Referensfallet

Referensfallet ger en bild av hur utvecklingen av Sveriges och Nordens energisystem utvecklas om rådande bränsleprisnivåer och andra omvärldsförutsättningar inte förändras särskilt mycket jämfört med idag. I referensfallet tillkommer heller inga nya styrmedel utöver de vi har idag, och de styrmedelssystem som är tidssatta (t.ex. det svenska elcertifikatsystemet) ersätts heller inte med något nytt. Referensfallet innehåller heller inga ytterligare incitament för reduktion av koldioxid och andra växthusgaser, utöver EU ETS och våra koldioxidskatter.

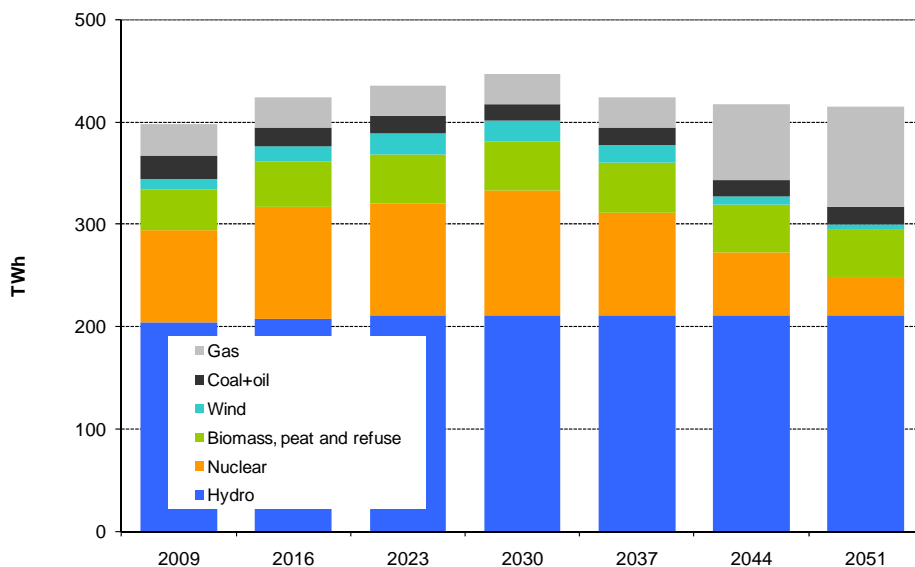
I referensfallet ligger utsläppen av koldioxid från det nordiska energisystemet kvar på en nivå nära dagens. Inkluderar vi transportsektorn i bilden, får vi ökande utsläpp till 2020 och 2030.



*Koldioxidutsläppen i Sverige i referensfallet*

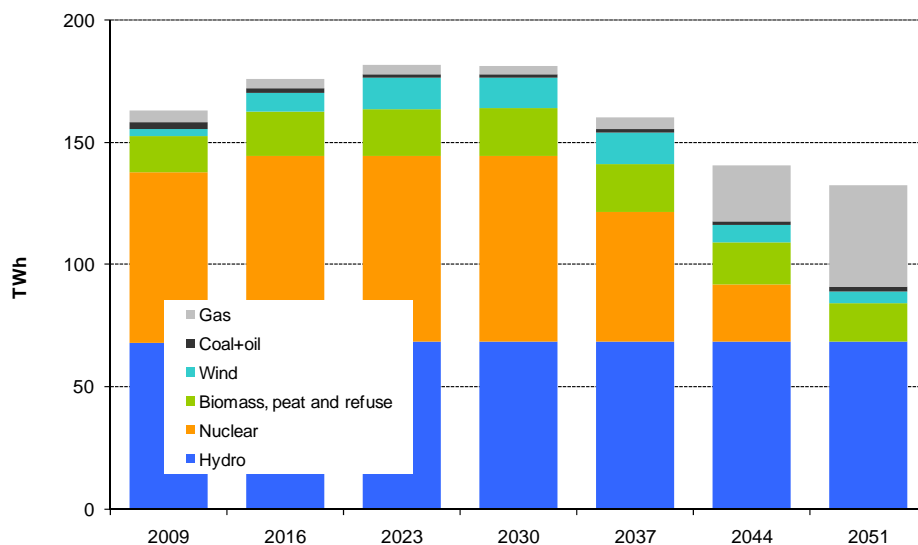
### Nordisk elproduktion

I referensfallet har vi antagit att svensk kärnkraft avvecklas. I takt med att våra stödsystem för förnybar kraftproduktion fasas ut, kommer – visar MARKAL – dessutom vissa reinvesteringar i vindkraften inte att genomföras efter 2030.



### Elproduktionen i Norden i referensfallet

Istället visar MARKAL-analyserna att vi får en kraftig expansion av fossilbränslekondens i det nordiska elsystemet efter 2030, vilket ökar koldioxidutsläppen ytterligare till 2050. (CCS blir inte lönsamt utan extra incitament för växthusgasreduktion, och de ingår inte i referensfallet.)



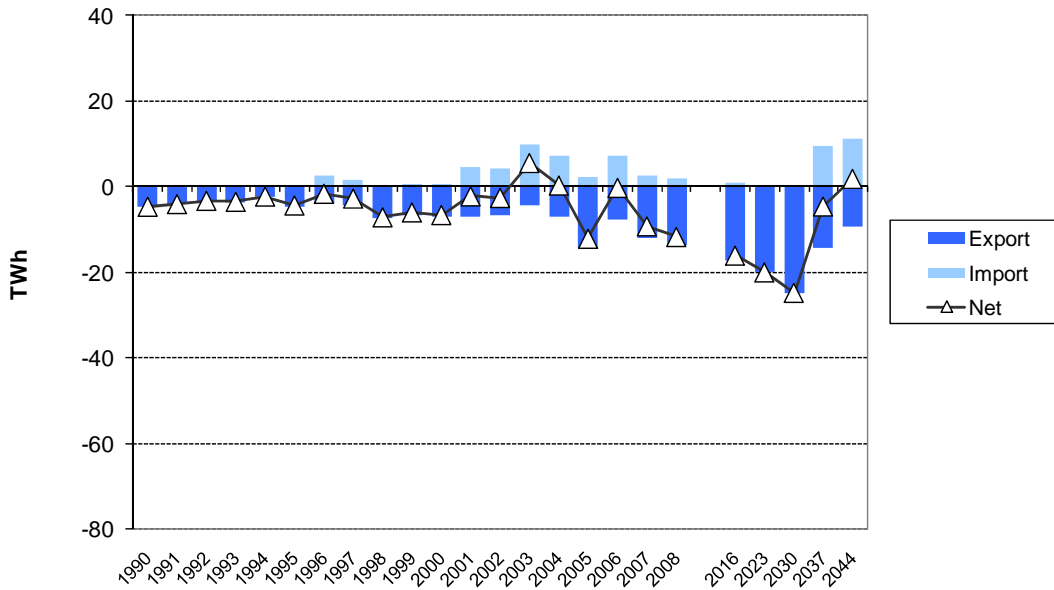
### Elproduktionen i Sverige i referensfallet

## Ellexport- och elimport

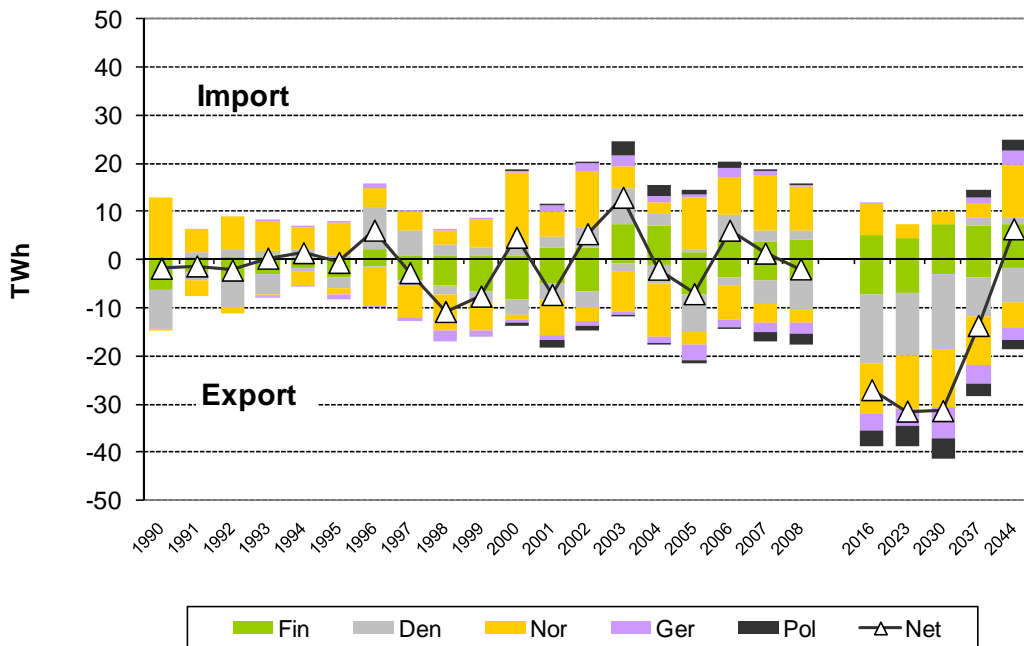
Norden – och i synnerhet Sverige – övergår dessutom från att ha varit en kraftexportör (netto) under hela 2000-talet till att bli en importör runt 2040. Vi kan tydligt se det i bilden nedan, som visar den nordiska krafthandeln. För modellåret 2037 är Norden fortfarande en stor nettoexportör, men vid modellåret 2044 är importen (något) större än exporten.

Vi ser motsvarande utveckling för Sverige. Från att ha varit nettoexportör blir vi importörer efter 2040. Kärnkraftavvecklingen medför att vi går från en nettoexport på över 30 TWh till en import på runt 20 TWh. Efter 2040 blir vi alltså (ständigt) beroende av våra grannländer för delar av vår elförserjning. Endast en andel av den kraftproduktion som krävs för att ersätta den svenska kärnkraften,

byggs nämligen i vårt land enligt MARKAL-analyserna. Det blir mer kostnadseffektivt att bygga den i våra grannländer, exempelvis gaskraft i Norge.



*Nordisk elhandel med Kontinenten (Tyskland och Polen) i referensfallet.*



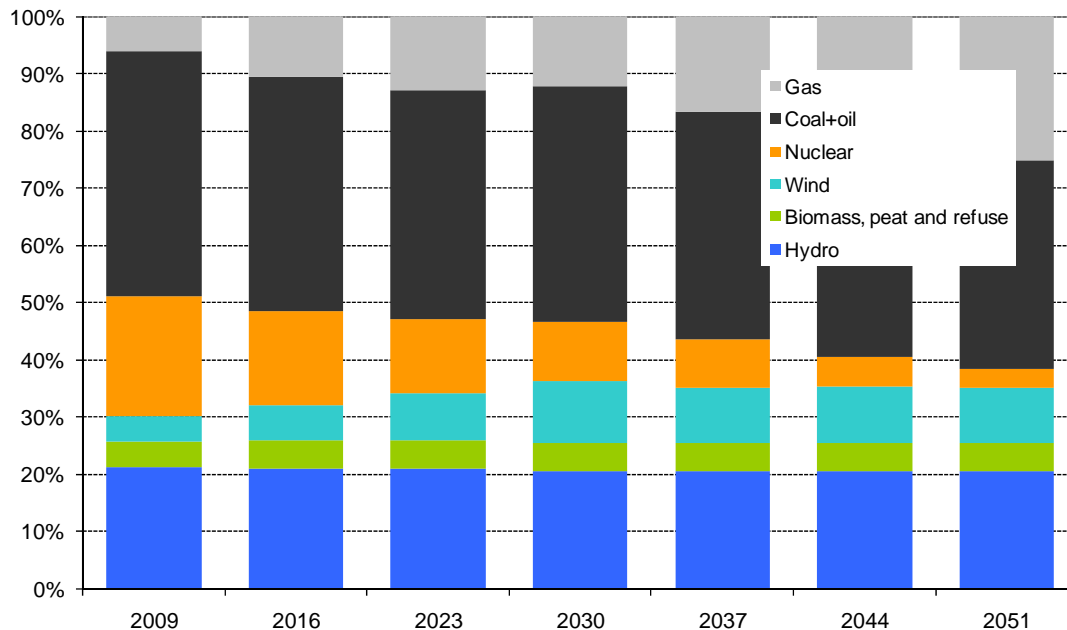
*Svensk elhandel med våra grannländer (Norge, Finland, Tyskland och Polen) i referensfallet.*

### Kraftproduktionen i Nordeuropa blir mer gas/kol-beroende

Den samlade kraftproduktionen i de länder vi här har analyserat med MARKAL (Norden plus Tyskland och Polen) blir alltmer fossilbränsleberoende - i referensfallet - ju närmare 2050 vi kommer, trots en ökar produktion av förnybar kraft med nära 100 TWh. Kärnkraften i Tyskland ersätts nämligen,

trots ökningen av förnybar kraft, till stor del med gaskraft och även ökningen av elkonsumtionen täcks främst med fossilbränslebaserad kraft.

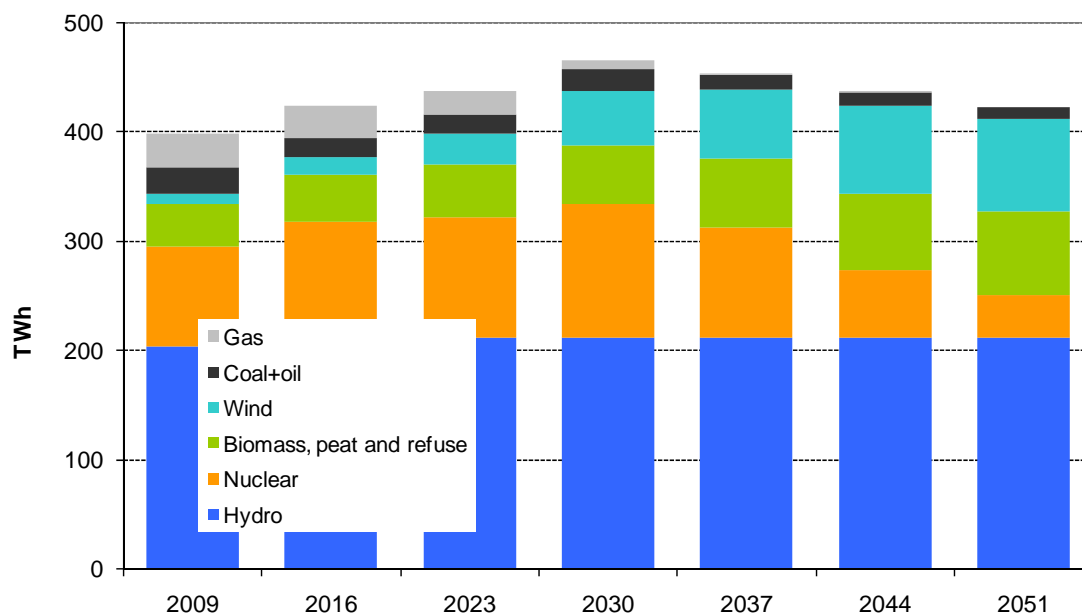
Sammansättningen av kraftproduktionen i det Nordeuropeiska kraftsystemet ges, som andelar av total produktion, i figuren nedan. Figuren visar tydligt att fossilbränsleandelen i kraftproduktionen ökar i referensfallet.



Elproduktionen i Nordeuropa i referensfallet

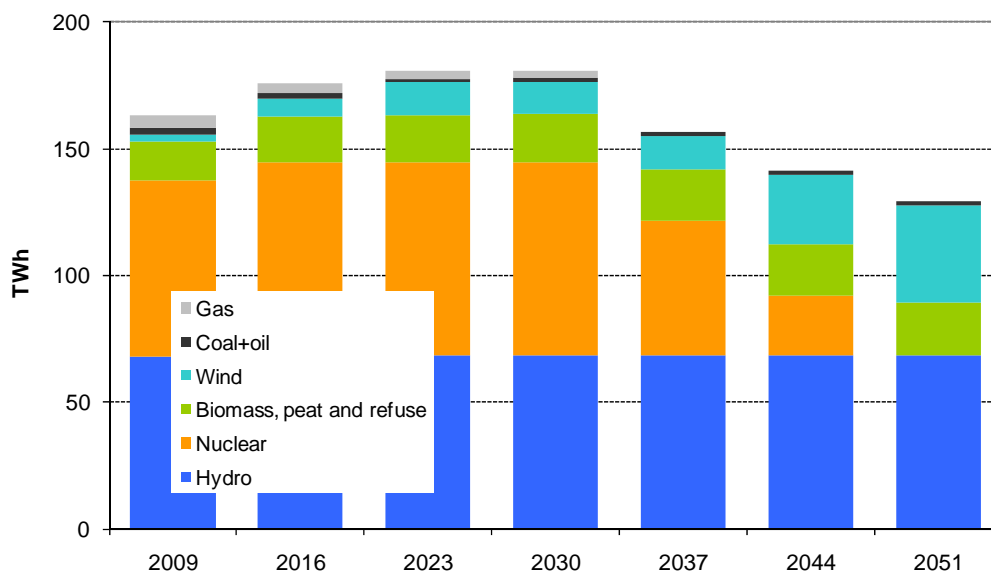
### Alternativt referensfall – med kraftigare bränsleprisökning

I ett alternativt referensfall har vi analyserat utvecklingen givet ett antagande om kraftigare prisstegringar på de internationella bränslemarknaderna. De kraftigt stigande fossilbränslepriserantagandena är hämtade från Eurelectric-studien, och är högre än vad exempelvis Energimyndigheten brukar använda.



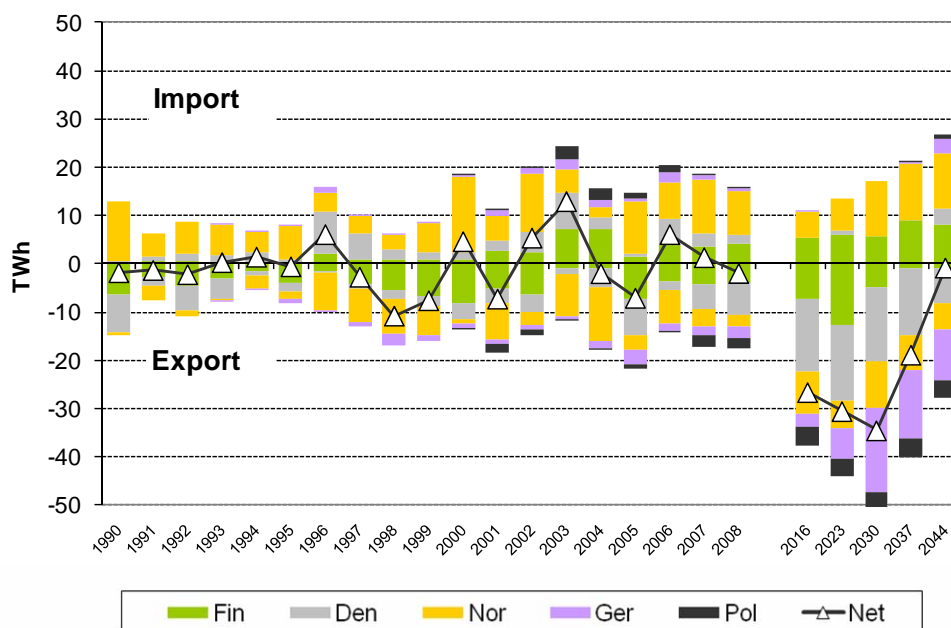
Elproduktionen i Norden i det alternativa referensfallet

Detta alternativa referensfall visar på en radikalt annorlunda utveckling av den nordiska elproduktionen. Gas- och kolkraften ersätts i mycket stort utsträckning av biobränslekraft och vindkraft. De höga naturgas-, kolpriserna i detta alternativa referensfall gör de förnybara kraftslagen lönsamma utan extra stöd och styrmedel. Även den svenska kärnkraften ersätts av förnybara kraftslag, när den avvecklas. År 2040 har vi mellan 150-200 TWh biobränsle- och vindkraft i det nordiska systemet. Utsläppen av koldioxid från elproduktionen är naturligtvis också mycket små.



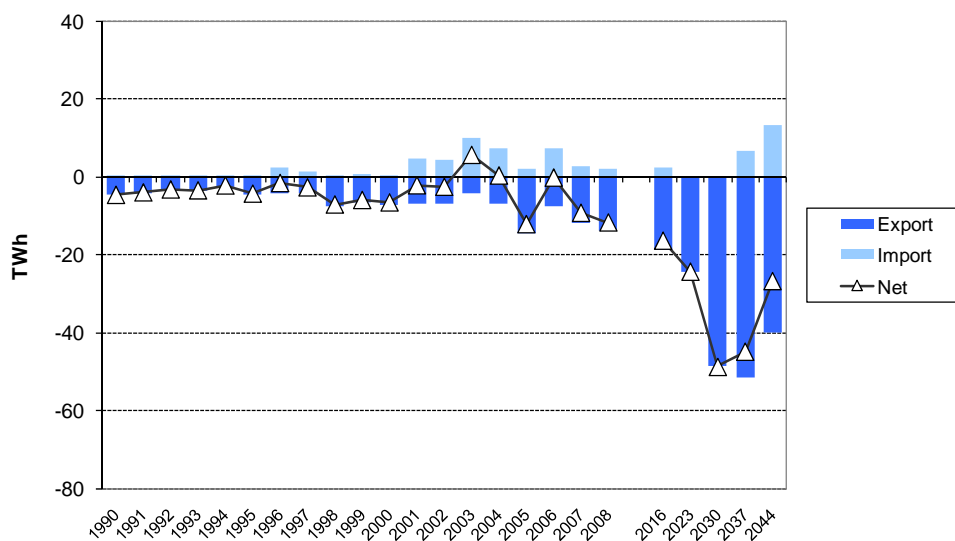
#### Elproduktionen i Sverige i det alternativa referensfallet

I detta alternativa referensfall, liksom i det ovan redovisade med långsammare prisutveckling, kommer många av de anläggningar som ersätter den svenska kärnkraften att byggas utanför vårt lands gränser. Vi kommer också att minska vår elexport kraftigt. Vårt importberoende blir dock inte lika stort här och kommer först kring 2050.



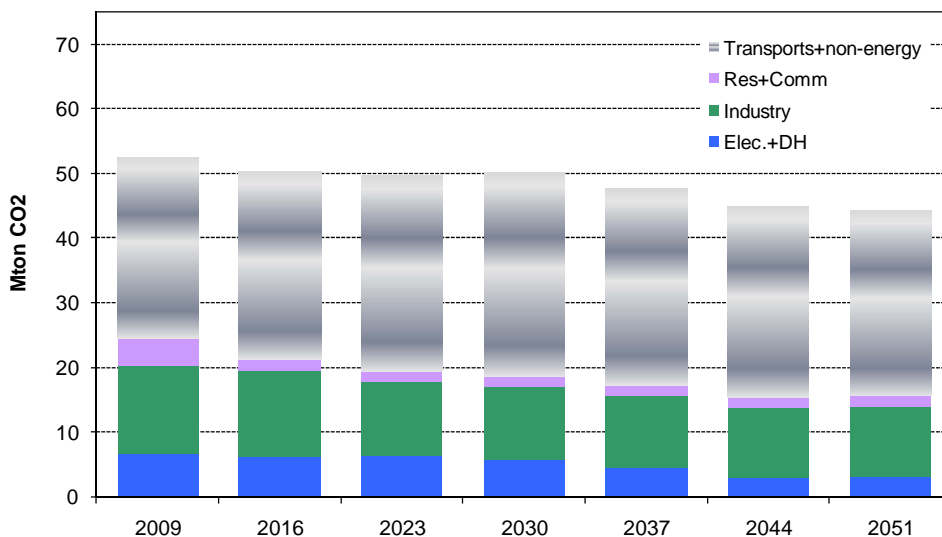
Svensk elhandel med våra grannländer (Norge, Finland, Tyskland och Polen) i det alternativa referensfallet.

Däremot blir den samlade nordiska elexporten till kontinenten betydligt större i detta alternativa referensfall. Orsaken är att Norden har bättre förutsättningar för förnybar kraftproduktion, och de höga fossilbränslepriserna efter 2020/2030, ger lönsamhet åt att exploatera denna resurs, trots att vi inte har med drivkraften av höga utsläppsriktpriser i detta fall.



*Nordisk elhandel med Kontinenten (Tyskland och Polen) i det alternativa referensfallet.*

Utsläppen av koldioxid minskar i detta alternativa referensfall, att jämföra med ökningen i referensfallet ovan. Högre fossilbränslepriser påskyndar naturligtvis omställningen av energisystemen, så att användningen av de allt dyrare olja, kol och naturgas, minskar även utan ökande klimatkrav och styrmedel. Särskilt gäller detta för el, vilket figuren av den nordiska produktionen ovan tydligt visar.



*Koldioxidutsläppen i Sverige i det alternativa referensfallet. Utvecklingen för transporter och icke-energirelaterade utsläpp från industrin ("Transport + non-energy") är endast schematiskt beräknade.*

MARKAL-resultaten visar på en snabbt minskande elproduktion från kol och naturgaskondensandel i Norden. Även i ett nordeuropeiska el-perspektiv syns skillnad. Andelen fossilbränslebaserad elproduktion blir klart lägre än 50% i detta alternativa referensfall, redan från 2030 och framåt.

Användningen av fossila bränslen i transportsektorn, och i industrins processer, blir inte lika omfattande. En slutsats, som är central i detta projekt, blir därmed att "höga fossilbränslepriser ensamt inte räcker för att nå klimatneutralitet". För det krävs att klimatkraven skärps.

## 5. MARKAL-analysen bekräftar visionens tre steg

I Sverige har regeringen ställt ut en vision om ett klimatneutralt Sverige år 2050. Klimatneutral el kommer att kunna bidra till omställningen till ett klimatneutralt samhälle. Svensk Energis visioner kan ses i tre steg. Den MARKAL-analys som gjorts i detta projekt bekräftar visionens tre steg:

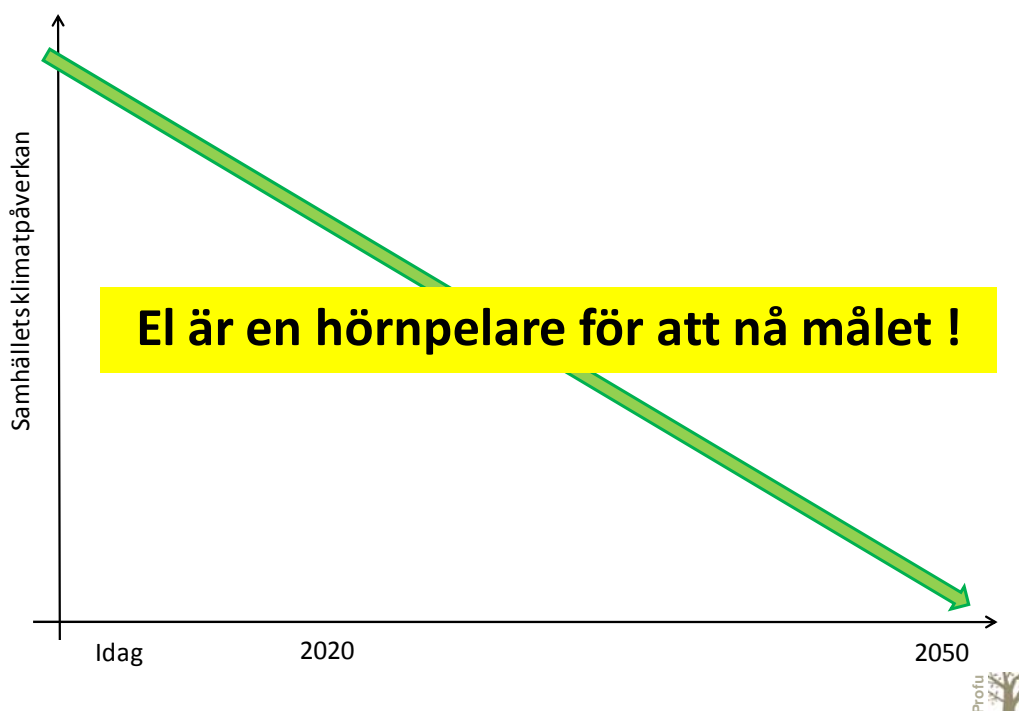
1. El blir klimatneutralt - och det sker före det övriga energisystemet blir klimatneutralt
  - a. Sverige redan idag, Norden runt 2020 och EU kring 2050
2. El blir en viktig klimatåtgärd, i takt med att den blir alltmer klimatneutral
  - a. Och omställningen till el kan börja nu, även om all el ännu inte är klimatneutral
3. El exporteras från de länder som blir klimatneutrala först
  - a. Från Sverige till Norden nu, från Norden till EU inom de närmaste åren/årtiondet

### **Vision om ett klimatneutralt Sverige år 2050**

Världen, och särskilt den industrialiserade delen av världen, står inför stora krav på minskningar av växthusgasutsläpp. I Sverige har regeringen ställt ut en vision om ett klimatneutralt Sverige:

*”År 2050 har Sverige en hållbar och resurseffektiv energiförsörjning och inga nettoutsläpp av växthusgaser i atmosfären.”*

Denna vision kan schematiskt illustreras så här:



### **El är en hörnpelare för att nå det klimatneutrala samhället**

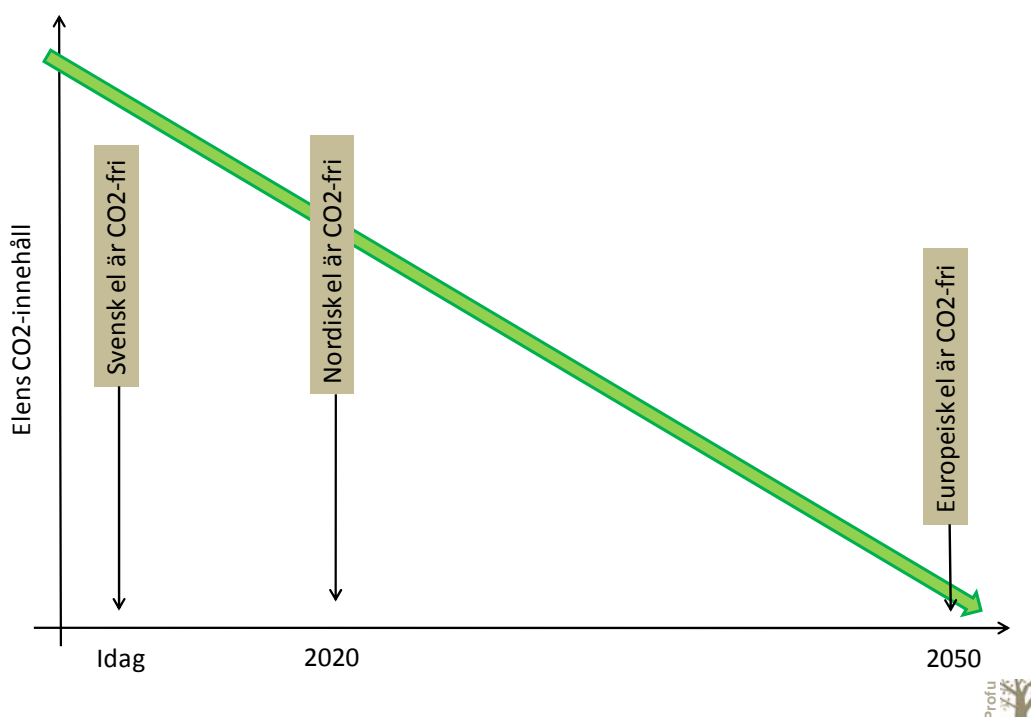
Den MARKAL-analys som gjorts i detta projekt visar att klimatneutral el kommer att spela en avgörande viktig roll i omställningen av energisystemet och starkt bidra till att vi kan nå ett klimatneutralt samhälle år 2050. El kan till och med bli den allra viktigaste klimatåtgärden, både i Sverige och i EU.

## Utsläppen av koldioxid är nära noll från svensk elproduktion redan idag, från nordisk år 2020 och från europeisk elproduktion år 2050

Svensk elproduktion baseras i dagsläget till nästan 100 procent på CO<sub>2</sub>-fria kraftslag. Vattenkraft, kärnkraft, biobränslekraft och vindkraft dominerar svensk elproduktion. Svensk elproduktion är alltså i det närmaste klimatneutral redan idag.

Den nordiska elproduktionen är på god väg att bli klimatneutral. År 2020 är det rimligt att anta att det nordiska produktionssystemet kan förse hela Norden med fossilfri kraft. EU:s energi- och klimatpaket för år 2020, med tydliga mål för växthusgasreduktion, förnybar energi och energieffektivisering, gör omställningen av elsystemet i Norden till ett CO<sub>2</sub>-fritt nordiskt elsystem lönsam. Norden kommer därigenom att gå före resten av Europa i klimatarbetet.

Den europeiska elproduktionen har en bit kvar innan den är fri från utsläpp av koldioxid, men till år 2050 bedöms detta vara möjligt. Både EU och den europeiska elbranschorganisationen Eurelectric har det som mål.

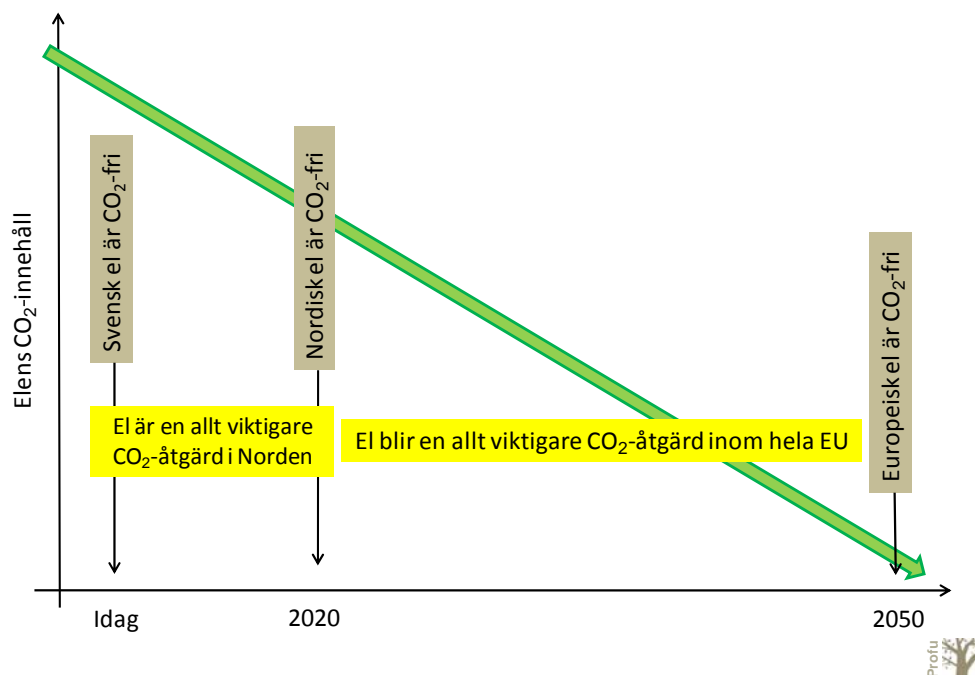


Schematisk figur av hur koldioxidinnehållet i europeisk el successivt reduceras ner till noll år 2050, och hur svensk och nordisk el går före.

## Ökad elanvändning en viktig förutsättning för ett klimatneutralt och energieffektivare Sverige och Europa

Skall vi nå klimatneutralitet är det viktigt att utnyttja våra resurser effektivt. Elsystemet ger möjlighet till det, förutsatt att elproduktionen görs klimatneutral. Även våra andra ledningsburna energiformer, fjärrvärme och gas, har dessa förutsättningar.

Klimatanalyser inom IPCC, EU och i nordiska/svenska forskningsprojekt visar att det krävs en mycket stor omställning av våra energisystem för att klara det tvågradersmål som IPCC satt upp. Samtidigt visar dessa analyser entydigt att el – som energibärare och infrastruktur – är central för att kunna nå målet. I allas analyser, globala, europeiska och nordiska/svenska, ökar elen sin betydelse i takt med att klimatmålen skärps. Elsystemen minskar sina utsläpp snabbare andra sektorer och elen kan då användas som en viktig åtgärd i klimatarbetet i dessa sektorer.

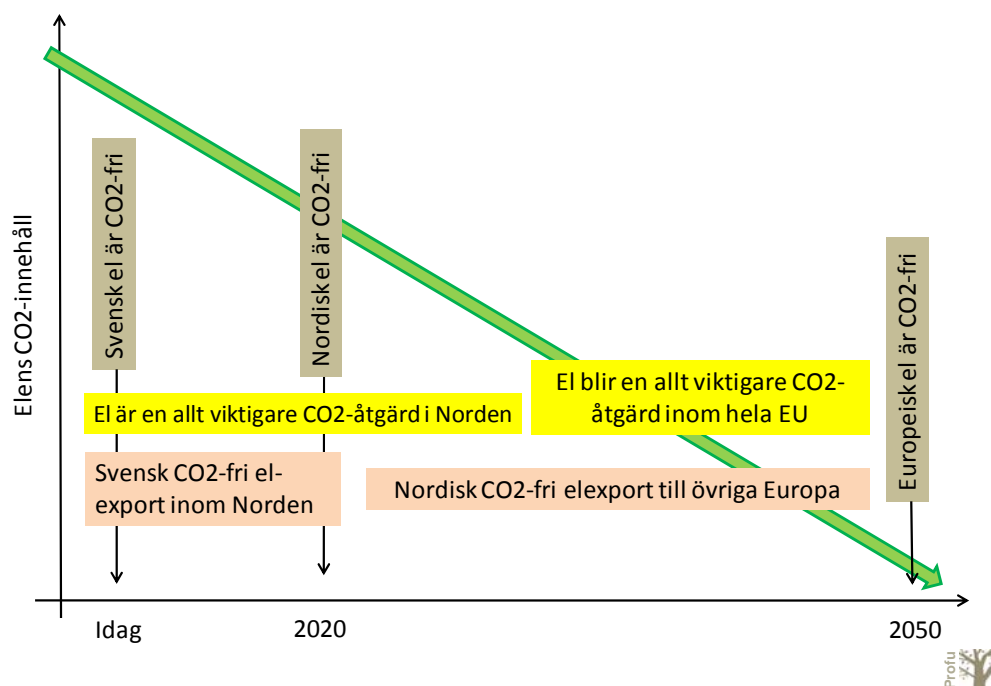


*El blir en viktig klimatåtgärd i Norden och i EU.*

El kan alltså bidra till ökad klimatneutralitet på alla marknader, men det är särskilt inom industrin, i transportsektorn och på värmemarknaden som elen ökar sina marknadsandelar när vi gör analyser för Sverige och Norden. Därmed inte sagt att volymsökningen av el på dessa marknader blir särskilt stor. Ellösningarna ger nämligen i många fall samtidigt en betydande energieffektivisering.

### **Svensk och nordisk elexport hjälper EU att bli klimatneutralt**

MARKAL-analyserna visar på en ökad drivkraft för växande elexport från Norden till Kontinenten. I visionsscenarioet kan nettoexporten nå nivåer upp emot 60 TWh/år redan runt år 2030. Sverige svarar för upp emot hälften. Genom denna export kan vi bidra till klimatarbetet i övriga Nordeuropa.



*Sverige och Norden exporterar klimatneutral el till grannländerna.*

## 6. Utvecklingen av Nordens energisystem till 2020

- Utdrag ur "Analys av en större sammanhängande elmarknad - resultat från Nordic Energy Perspectives"

Nordic Energy Perspectives (NEP) är ett omfattande nordiskt energiforskningsprojekt som genomförs i sin andra etapp under perioden 2007-2010. NEP:s analyser har utgått från EU-målen för 2020, som de formulerats i EU:s energi- och klimatpolitiska paket från 2008 och olika tänkbara varianter av dessa. I projektet har vi analyserat utvecklingen, dragit slutsatser och belyst konsekvenser av målen. Nedan ges, mycket kortfattat, ett antal resultat och slutsatser med fokus på elmarknadens utveckling.

### CO<sub>2</sub>-utsläppen minskar med 20-40% i energisystemet

EU:s mål för CO<sub>2</sub>-reduktion och förnybar energi har stor påverkan på det nordiska energisystemets utveckling. På 15 års sikt minskar koldioxidutsläppen från de stationära nordiska energisystemen med 20-25 %. Om även målet om 20% effektivisering till 2020 genomförs minskar CO<sub>2</sub>-utsläppen med hela 40 %. Majoriteten av denna CO<sub>2</sub>-reduktion sker inom den handlande sektorn, varför åtagandena inom den icke-handlande sektorn ändå kan kräva ytterligare CO<sub>2</sub>-reduktion i Sverige och Norden; särskilt inom transportsektorn.

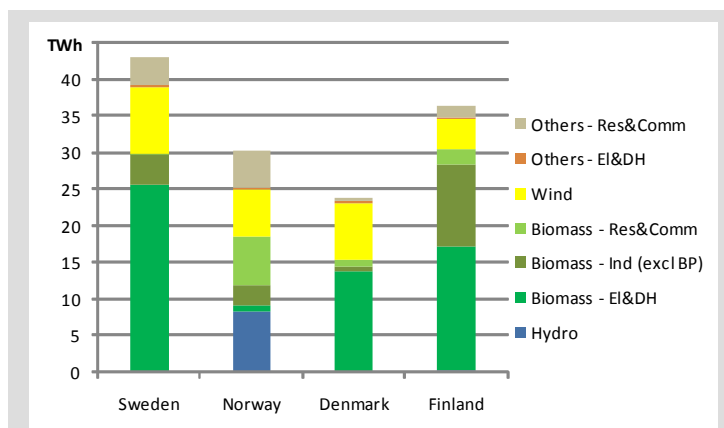
### Förnybar energi ökar med 120 TWh i Norden

Användningen av förnybar energi i energisystemet ökar kraftigt i Norden (+ 120 TWh/år om förnybarmålet genomförs), främst i form av biobränslen och vindkraft. Om effektiviseringsmålet tillämpas blir mängden förnybar energi mindre (men fortfarande klart större än idag)

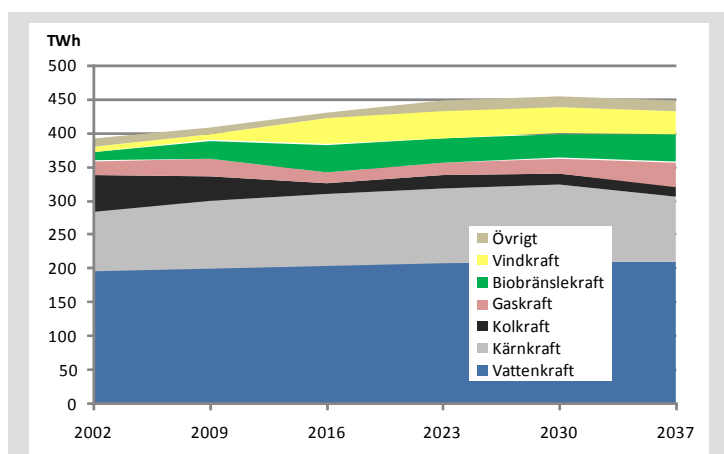
### Nordisk el nästan helt CO<sub>2</sub>-fri 2020

Elmarknadens utveckling är avgörande för att vi i Sveriges och Nordens energisystem skall kunna nå EU:s mål till 2020. Den kol- och gasbaserade produktionen reduceras kraftigt till år 2020 och **all ny kraft som byggs i Norden blir förnybar kraft och kärnkraft** enligt NEP:s analyser. Genomförs EU:s "gröna paket" blir nordisk el nästan helt CO<sub>2</sub>-fri redan år 2020.

Man kan i framtiden förvänta sig ett kraftigt ökat bidrag från förnybar elproduktion i hela Europa. Eftersom denna i hög grad kan betraktas som intermittent kommer det att behövas back-up för den förnybara elproduktionen. Nordisk vattenkraft har ett stort värde i detta sammanhang.



Ökning av förnybara energislag i Norden till 2020, jämfört med 2005, då EU:s gröna paket införs. Ökningen är 120 TWh.



Med EU:s gröna paket blir all ny kraft som byggs i Norden förnybar kraft och kärnkraft. Nordisk el blir nästan helt CO<sub>2</sub>-fri redan 2020.

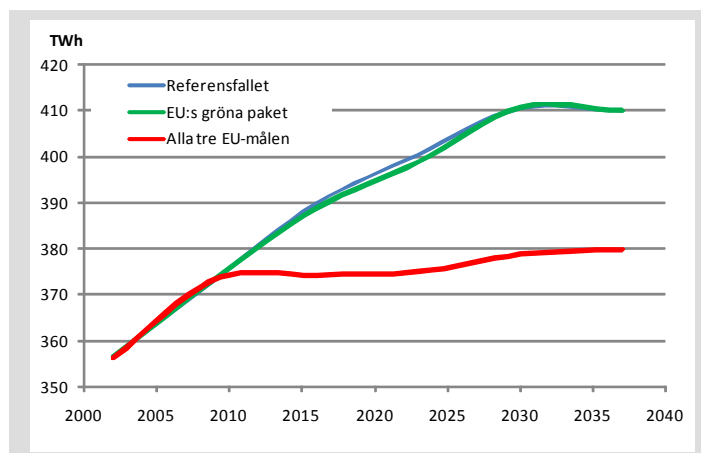
**Styrmedel är av avgörande betydelse för utvecklingen av elförsörjningen.** De styr i stor utsträckning vilka kraftslag som byggs ut och hur de körs. Olika styrmedel påverkar också systempriset på el på olika sätt. Styrmedel för att öka mängden förnybar el (t.ex. elcertifikat) ökar utbudet av el, vilket sänker systempriset på el. Styrmedel med syftet att minska koldioxidutsläppen (t.ex. utsläppsprätthandel) ökar elproduktionskostnaden och höjer elpriset.

## Elanvändningen

Elanvändningen ökar i de nordiska energisystemen. Ett 20%-igt effektiviseringskrav medför dock att ökningen av elanvändningen blir avsevärt mindre och att ökningen kan avstanna inom 15 år. Effektiviseringsmålet tillsammans med koldioxid- och förnybarmålen ger på sikt ca 30 TWh/år mindre elanvändning än i referensfallet.

Effektivisering av energianvändningen sker ständigt. Nya apparater är effektivare än gamla, men hittills har det inte varit tillräckligt för att minska energianvändningen eftersom fler apparater och större byggnadsytor efterfrågas.

Det finns stora återstående potentialer för energieffektivisering. Samtidigt vet vi av erfarenhet att endast en bråkdel, inom bebyggelsen kanske 15 %, av hela potentialen kommer att genomföras utan ytterligare styrmedel. Vår bedömning är därför att relativt *kraftiga politiska styrmedel* krävs för att få åtgärderna genomförda, trots att många av dem är lönsamma i en "ingenjörskalkyl".



## Primärenergiviktningen

Eftersom EU:s effektiviseringsmål relaterar till primärenergi är primärenergiviktningen avgörande viktig för att nå synergier med tillförseln. Vi har, i NEP:s analyser, viktat alla energislag med faktorn ett (1), med undantag för gratisenergin till värmepumpar som viktats noll (0). När det gäller kärnkraft har vi viktat elen ut från kärnkraftsverken med faktorn 1; vi har alltså inte viktat uranet in i verken.

Viktas däremot kärnkraft med uranets energivärde som primärenergi, blir kärnkraftsavveckling en lönsam "effektiviseringsåtgärd". Det är olyckligt, eftersom kärnkraften är CO<sub>2</sub>-fri och eftersom vi inte tror att effektiviseringsmålet främsta uppgift är att eliminera kärnkraften. I EU:s gröna paket anges också kärnkraft som en viktig åtgärd för koldioxidreduktion.

## Vindkraft i Sverige och Norden

Den tekniska potentialen för vindkraft i Sverige är mycket stor, hundratals TWh/år. En stor del av denna kan byggas ut till måttliga kostnader, ca 50 – 60 öre/kWh. Vid nuvarande omvärldsförutsättningar, inklusive ett utbyggt elcertifikatsystemet (+ 25 TWh till 2020) kan man förvänta sig att vindkraftproduktionen i Sverige år 2020 uppgår till ca 12 TWh. Om mer vindkraft skall byggas ut krävs ett ytterligare utvidgat elcertifikatsystem (eller andra långsiktiga styrmedel) eller att andra alternativ inom elcertifikatsystemet blir/görs mindre konkurrenskraftiga.

Havsbaserad vindkraft är relativt dyr och kommer sannolikt inte att byggas ut utan extra stöd (utöver elcertifikatsystemet). För att vindkraften skall byggas ut på mest kostnadseffektiva sätt är det viktigt att i så stor utsträckning som möjligt utnyttja de bästa vindlägena. En effektiv tillståndsprocess krävs för att uppnå detta.

Stor utbyggnad av vindkraft, med dess intermittenta karaktär, ställer krav på tillgång till reglerkraft och reservkraft. Marknadsregler som uppmuntrar efterfrågeanpassning är också viktig. Utbyggnad av stamnät och distributionsnät är av stor vikt för utbyggnaden av vindkraft. Beslut om hur detta skall ske behövs. De goda förutsättningarna för förnybar el i Norden, tillsammans med måttlig eller till och med minskande elanvändning, kan samtidigt leda till att stora mängder el exporteras till exempelvis Tyskland/Polen. Detta ställer krav på ökande överföringskapacitet.

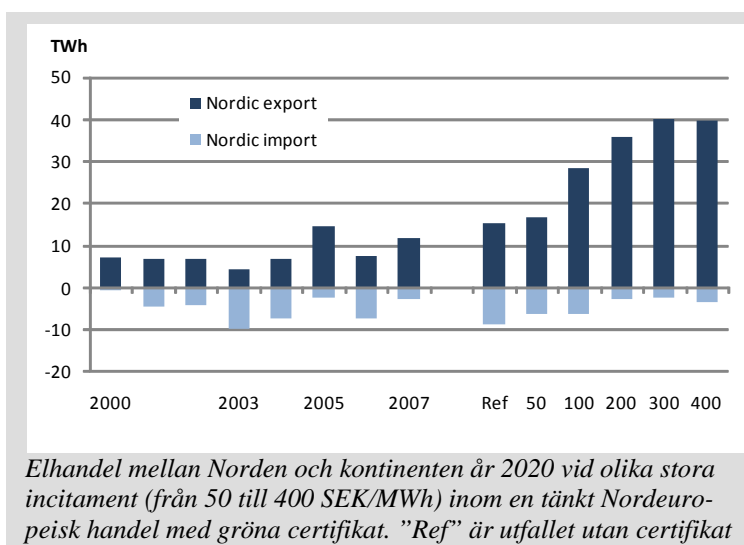
### Viktigt att inte låsa fast en förutbestämd mix av förnybara åtgärder för det nationella åtagandet

Värmemarknaden kan, visar NEP:s analyser, spela en viktig roll för att nå de förnybara åtagandena i Norden. Det är alltså kostnadseffektivt att låta värmemarknaden, transportsektorn och industrin ta sina delar av ansvaret för de förnybara åtagandena. Det kan kräva nya gröna styrmedel även i dessa sektorer. Om CO<sub>2</sub>-priset stiger, förstärker det dock lönsamheten för vindkraft och biobränslekraft i Norden och elmarknadens roll för det förnybara åtagandet ökar. Om EU på sikt dessutom tillåter handel med gröna certifikat (eller motsvarande) inom det förnybara direktivet, blir drivkrafterna för förnybar nordisk elproduktion och elexport än större. NEP:s råd till våra politiker är därför - när man nu ser över styrmedlen för förnybar energi - att hålla öppet för stor flexibilitet i den förnybara mixen av åtgärder (och inte ensidigt förstärka styrmedlen i elsektorn).

### Export och import av el

EU:s förnybardirektiv och efterföljande nationella mål leder till ökat utbud av förnybar el. I Norden leder det till sjunkande elpriser. På kontinenten slår den ökade förnybara elen inte igenom i elpriset på samma sätt eftersom elproduktionen i så stor utsträckning baseras på kolkondenskraftverk. Dessa elprisskillnader driver elhandeln.

Elexporten till kontinenten blir därför större i framtiden än idag. Om det också blir möjligt att handla inom EU:s förnybarhetsdirektiv, t.ex. via ett gemensamt nordeuropeiskt elcertifikatsystem, så kan den nordiska elexporten (netto) öka upp till emot 40 TWh/år, visar NEPs analyser. Det ökade utbudet av el i Norden leder också till behov av förstärkning av överföringsförbindelserna. (När vi här diskuterar export/import av el så avser vi elutbytet mellan Norden och Tyskland/Polen/Nederländerna. Finland har parallellt med detta en import från Ryssland.)



Om EUs förnybarmål genomförs med gemensamma styrmedel i EU, ökar det samtidigt drivkraften för utbyggnad av vindkraft i Sverige och Norden. Vi blir då alltså en stor nettoexportör av el, vilket ställer krav på överföringsförbindelser och transmissionssystem. Det är också viktigt att sådana styrmedel utformas så att de uppfattas som rättvisa. Det kan annars bli diskussion om varför svenskt stöd skall användas för export av el till andra länder. Ett europeiskt elcertifikatsystem är i dagsläget avlagt, men om EU:s 20 % mål för förnybart verkligen blir styrande och överordnas andra hänsyn skulle det vara tänkbart.

En stor expansion av produktionen av förnybar el i Norden medför samtidigt att viss annan elproduktion "trängs undan", främst sådan som baseras på fossila bränslen. Detta medför att utsläppen av koldioxid minskar i Norden. Hur stor minskningen blir är en funktion av ambitionsnivån i introduktionen av förnybar el. Elexporten medför samtidigt att koldioxidutsläppen minskar i Tyskland/Polen. Samarbetet kring utbyggnad av förnybar el i Norden ger alltså en dubbel utsläppsreduktionseffekt.

EU-kommissionen har uttalat att överföringsförbindelser mellan länder skall vara öppna. Det behövs incitament för att stamnätsföretagen skall bygga nya utlandsförbindelser. En ny ledning till kontinenten tar inemot 10 år att få till stånd. Av detta utgör byggtiden 2-3 år. Kompetens är en bristvara i flera led av tillverkande entreprenörer.

## Biobränslen

Expansionen av biobränsleanvändningen är den viktigaste åtgärden för att möta våra förnybara åtaganden i Norden till 2020. Användningen av biobränslen för el- och värmeproduktion har redan – under de senaste tjugotalet åren – gynnats av olika politiska styrmedel, vilket har lett till kraftigt ökad användning. Analyser i Elforskprojektet Biokonk visade dock att det finns ett tak för hur mycket efterfrågan av biobränslen från energisystemet kan växa och att vi kan nå taket inom 10-15-år.

Priset på biobränslen stiger och Biokonks resultat pekade på att de kan komma att stiga i ytterligare 10 år. För svensk skogsindustri behöver dock inte höga biomassapriser innebära någon nackdel ur konkurrenssynpunkt. Det avgörande är prisutvecklingen jämfört med konkurrentländerna.

## Fjärrvärme och mottryck

Vårt biobränsle används huvudsakligen i fjärrvärmeproduktionen och inom skogsindustrin. Utvecklingen för fjärrvärme och industrins processångbehov är också viktigt ur elperspektiv genom att de utgör underlaget för elproduktion i kraftvärme och industriellt mottryck. Fjärrvärmens utveckling har också en koppling till elens roll på uppvärmningsmarknaden, genom att elvärme kan bytas mot fjärrvärme. En tredje koppling mellan fjärrvärme och el är den el som ingår i den svenska fjärrvärmeproduktionen (i värmepumpar och elpannor).

Även om fjärrvärmens marknadsandelar i Sverige så leder den löpande energieffektiviseringen i bebyggelsen till att fjärrvärmeleveranserna stagnerar i framtiden. Om EU:s effektiviseringsmål genomförs kan fjärrvärmeleveranserna inom kort till och med minska.

Om EU:s tre 20 % mål genomförs kommer värmeunderlaget för kraftvärme att minska genom minskad fjärrvärmeproduktion och ökad fjärrvärmeproduktion i värmepumpar kopplade till fjärrvärmeproduktionen. Det blir alltså en dubbel effekt på elnettot från fjärrvärmeområdet; dels minskar värmeunderlaget för elproduktion i kraftvärmeverk och dels ökar elanvändningen i värmepumpar.

Elproduktionen från industriellt mottryck ökar, till stor del som en följd av elcertifikatsystemet. Ökningen utgörs främst av biobränslebaserad mottrycksproduktion inom skogsindustrin.

## En storsatsning på elfordon bidrar starkt till att Norden kan nå EU-målen 2020

NEP:s analyser visar att en storsatsning på elfordon kan ge ett betydande bidrag till att vi når EU:s klimat- och energimål till 2020, i Norden.

1,3 miljoner elfordon skulle kunna reducera koldioxidutsläppen i den icke-handlande sektorn med upp till 25% av de nordiska ländernas åtaganden till 2020, och därmed bli en avgörande viktig åtgärd för att nå de nationella åtagandena. Energiomvandlingen och utsläppen flyttas istället till den handlande sektorn (bensin- och dieselmotorer byts mot elproduktion), och hanteras inom EU ETS.

Nordiska elfordon utnyttjar mycket förnybar el och eftersom EU räknar upp förnybar el till el-fordon med faktorn 2,5 blir bidraget från elfordon till uppfyllandet av förnybarmålet stort.

Eldriften gör laddhybriderna och elfordonen mycket energieffektiva. En elmotor omvandlar mer än 90% av elenergin till mekanisk energi. En bensinmotor klarar bara av att omvandla 20-30 % av bensinens energiinnehåll för fordonens framdrift.

Vid en elbilsintroduktion i Norden motsvarande 1,3 miljoner elfordon ökar elanvändningen med omkring 1% (cirka 4 TWh). Detta sker främst, enligt NEP:s analyser, genom att den nordiska elexporten blir mindre, jämfört med ett fall utan elbilsintroduktionen.

*För utförligare resultatredovisning från projektet Nordic Energy Perspectives hänvisar vi till projektets rapporter, som kan laddas ner från [www.nordicenergyperspectives.org](http://www.nordicenergyperspectives.org), samt till Elforskrapporten: "Analys av en större sammanhängande elmarknad - resultat från Nordic Energy Perspectives".*

## Bilaga 1: Omvärlds- och beräkningsförutsättningar

I detta avsnitt följer en sammanställning över ett antal utvalda och viktiga beräkningsförutsättningar i MARKAL-NORDIC. Några av dessa förutsättningar har lagts fast specifikt för detta uppdrag (bland annat utifrån EURELECTRICs ”Roadmap”-studie) medan andra antaganden har tillkommit i samarbete med Energimyndigheten (bl a inför Långsiktsprognos 2008 och beräkningsuppdrag i anslutning till en förhöjd ambitionsnivå inom elcertifikatsystemet från 2009/2010). En stor del av indataunderlaget har dessutom varit fastlagt sedan en längre tid tillbaka i databasen men ses kontinuerligt över av Profu (eller i samband med andra beräkningsuppdrag).

### Energibehov

I beräkningarna har vi utgått från en uppdaterad prognos för Sverige som levererats i samband med analysen av den förhöjda ambitionsnivån inom elcertifikatsystemet på uppdrag av Energimyndigheten. Behovsprognosen återfinns i komprimerad form i *Tabell 2* och *Tabell 3*.

Data från Energimyndigheten sträcker sig till och med 2030 (för industrin) respektive 2035 (bostäder och service). För perioden mellan 2030 (2035 för bostäder och service) och 2050 har vi lutat oss emot EURELECTRICs ”Roadmap for a carbon-neutral European electricity sector by 2050” som avser energibehovsutvecklingen i Europa i stort. I korthet innebär detta en långsam minskning av den slutliga energianvändningen inom bostäder och service mellan 2030 och 2050 medan den industriella energianvändningen istället ökar något under samma period. För bostäder och service har vi antagit att uppvärmningsbehovet proportionellt står för en större del av nedgången mellan 2035 och 2050 vilket innebär att drift- och hushållselanvändningen är i det närmaste oförändrad mellan 2030 och 2050.

Inom bostäder och service fördelar sig energianvändningen på värme och hushållsel/driftel. Värmebehovet är på förhand givet medan energibärarna för att tillgodose värmebehovet är ett modellresultat. Värmen kan genereras med t ex olja, naturgas, el, värmepumpar, fjärrvärme och pellets. Behovet av hushållsel/driftel kan naturligtvis endast täckas med energibäraren el.

**Tabell 2** Energibehov inom bostäder, service och jordbruk (TWh). ”Värme” uttrycks som nyttig energi. För perioden mellan 2030 och 2050 har vi utgått från en allmän europeisk energibehovsökning uppskattad av EURELECTRIC (”Roadmap for a carbon-neutral European electricity sector by 2050”).

		2005	2010	2020	2030	2035	2050
<b>Bostäder</b>	<b>Hushållsel</b>	19,7	20	20,5	20,5	20,5	20,5
	<b>Värme</b>	65,9	65,4	66,3	66	65,6	62,3
<b>Lokaler</b>	<b>Driftel<sup>1)</sup></b>	26,4	26,4	26,9	26,8	26,7	26,7
	<b>Värme</b>	24,1	23,5	23,7	23,9	24,1	22,9
<b>Övrigt</b>	<b>Driftel</b>	5,5	5,1	5,2	5,2	5,2	5,2

<sup>1)</sup> Inklusive driftel i flerbostadshus.

För industrins energibehov skiljer modellen på substituerbar energi och icke-substituerbar energi. Koks, lätt eldningsolja, gasol, processvärme och fjärrvärme beskrivs som icke-substituerbara energibärare vars behov anges exogent enligt *Tabell 3*. Däremot antas kol, naturgas, tung eldningsolja och biobränslen vara substituerbara bränslen som används för att generera processvärme (inklusive ånga). Användningen av de substituerbara bränslena inom industrin är med andra ord ett modellresultat. El är både en substituerbar (i elpannor för att generera processvärme) och en icke-substituerbar (för till exempel motorer, pumpar och dylikt) energibärare.

Processvärmebehovet är beräknat utifrån de av Energimyndigheten tillhandahållna behovsprognoserna för kol, koksugns gas, masugns gas, naturgas, tung eldningsolja, biobränslen och el för elpannor, samt egna antaganden om verkningsgrader för att generera processvärme.

**Tabell 3** Industrins energibehov (TWh). För perioden mellan 2030 och 2050 har vi utgått från en allmän europeisk energibehovsökning uppskattad av EURELECTRIC ("Roadmap for a carbon-neutral European electricity sector by 2050").

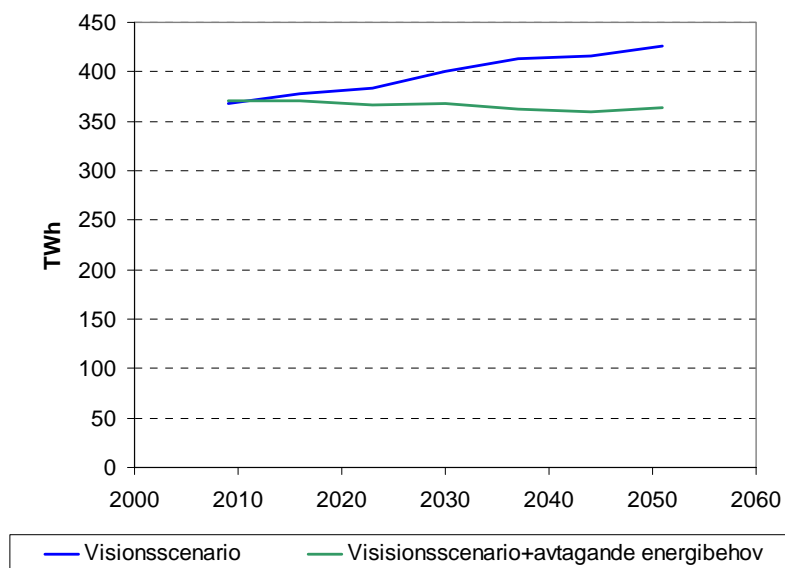
	2005	2010	2020	2030	2050
<b>Koks</b>	7,3	7,2	7,3	7,5	8,4
<b>Lätt eldningsolja</b>	2,8	2,7	2,6	2,6	2,9
<b>Gasol</b>	4,7	4,7	4,7	4,7	5,2
<b>Processvärme</b>	69,3	70,8	72,6	74,3	83,2
<b>El (exkl elpannor)</b>	54,4	55,7	56,7	57,6	64,5
<b>Fjärrvärme</b>	4,4	4,5	4,6	4,7	5,2

Transportsektorn ingår ej i modellbeskrivningen sånär som på en uppskattning av sektorns framtida elförbrukning för spårbunden trafik och elbilar (se *Tabell 4*). Underlaget bygger på Energimyndighetens prognoser fram till 2035. Därefter antar vi samma ökningstakt som mellan 2035 och 2020 för bantrafiken, medan ökningstakten inom vägtrafiken under 2035-2050 är baserad på EURELECTRICs "Roadmap for a carbon-neutral European electricity sector by 2050" referensscenario vilket i referensfallet innebär en ökningstakt på omkring 0,5% per år. För visionsscenarioet har vi använt oss av de uppskattningar som tillkommit under Elforsks transportvisionsprojekt (se mer i huvudtexten)

**Tabell 4** Transportsektorns elbehov (TWh/år)

		2005	2010	2020	2030	2035	2050
<b>Elanvändning, bantrafik</b>	Referens	2,82	3,12	3,6	4	4,3	5
	Visionsscenario	2,82	3,12	3,6	4	4,3	5
<b>Elanvändning, vägtrafik</b>	Referens	0	0	0,2	0,7	0,9	1,0
	Visionsscenario	0	0	0,9	6	8,2	12
<b>Totalt, transporter</b>	Referens	2,82	3,12	3,8	4,7	5,2	6,1
	Visionsscenario	2,82	3,12	4,5	10	12,5	17

Den totala elanvändningen i Sverige och i Norden är, som antytts tidigare, delvis ett beräkningsresultat och bestäms inte fullt ut på förhand. Ett typiskt beräkningsutfall för den samlade nordiska elförbrukningen i visionsscenarioet presenteras i *Figur 1*. Analysen har i detta uppdrag kompletterats med en känslighetsberäkning av ett fall där den samlade energiförbrukningen antas sjunka som en följd av till exempel EUs energieffektiviseringsmål till och med 2020 (baserat på bedömningar gjorda under NEP-projektet; [www.nordicenergyperspectives.org](http://www.nordicenergyperspectives.org)). I detta beräkningsfall har vi antagit att effektiviseringsarbetet fortsätter att driva ner energianvändningen med omkring ytterligare 10 procent fram till 2050.



**Figur 1** Beräkningsutfall för den totala nordiska elefterfrågan i visionsscenarioet (slutlig elanvändning det vill säga efter distributionsförluster)

## Bränslepriser

Prisantaganden för fossila bränslen och bibränslen visas i *Tabell 5* respektive *Tabell 6*. De fossila bränslepriserna bygger på EURELECTRICs ”Roadmap for a carbon-neutral European electricity sector by 2050” medan bibränslepriserna är hämtade ur Energimyndighetens Långsiktsprogno 2008. För fossilbränslepriserna har vi generellt använt oss av ett grundfall där priserna följer EURELECTRICs bedömningar fram till och med 2015. Därefter har vi i grundfallet låtit priserna ligga kvar på samma nivå under resten av beräkningsperioden. I en känslighetsberäkning av visionsscenarioet har vi dock valt att följa EURELECTRICs antaganden fullt ut under hela beräkningsperioden. Detta innebär en relativt kraftig prisökning för de fossila bränslena sett över hela perioden (se *Tabell 5*).

**Tabell 5** Fossila bränslepriser (SEK<sub>2007</sub>/MWh, fritt nationsgräns och exklusive skatt). Källa: EURELECTRICs ”Roadmap for a carbon-neutral European electricity sector by 2050”

		2005	2010	2015	2025	2030	2050
<b>Kol</b>	<i>Grundfall</i>	60	80	90	90	90	90
	<i>Känsligh.-fall</i>	60	80	90	120	119	124
<b>Tung eldningsolja<sup>1)</sup></b>	<i>Grundfall</i>	186	195	200	200	200	200
	<i>Känsligh.-fall</i>	186	195	200	275	280	330
<b>Lätt eldningsolja<sup>1)</sup></b>	<i>Grundfall</i>	309	375	380	380	380	380
	<i>Känsligh.-fall</i>	309	375	380	525	545	670
<b>Naturgas</b>	<i>Grundfall</i>	162	180	190	190	190	190
	<i>Känsligh.-fall</i>	162	180	190	240	290	375

1) Antagandena från EURELECTRIC avser råoljeimport till Europa. Vi antar här ungefär samma prisförhållande mellan råolja och TEO respektive LEO som Energimyndigheten gjorde inför Långsiktsprogno 2008 (detta förhållande antas variera något med råoljepriset)

Till importpriserna (exklusive skatter) på de fossila bränsleslagen tillkommer ett antal distributionspåslag beroende på användare. För kolet tillkommer till exempel 10 SEK/MWh i kolhamnen. För naturgasen tillkommer t ex omkring 20 SEK/MWh i transmissionskostnad för nya gasledning (något mindre i existerande svenska gasledning och då räknat som en rörlig transportkostnad). Därmed blir

gaspriset fritt ett kraftvärmeverk omkring 230 SEK/MWh år 2015 inklusive transmission (i referens-fallet). För industriell användning och användning inom bostäder och service tillkommer ytterligare distributionskostnader. (För Norges del antas gaspriset vara 10 SEK/MWh lägre (än i *Tabell 5*) vid den norska fastlandsgränsen. Dessutom antas att ingen transportkostnad tillkommer för användning i gas-kondenskraftverk på norska Vestlandet. För användning i norska kraftvärmeverk förutsätts dock en gasinfrastruktur med tillhörande investeringskostnader.

**Tabell 6** Biobränslepriser och –potentialer. Källa: Energimyndigheten, "Långsiktsprogno 2008", samt Profus egna bedömningar.

	Bränslepris (SEK/MWh)			Potential (TWh per år)	
	2005	2015	2025	2015	2025
<b>Returlutar</b>	-	-	-	45	50
<b>Fasta skogsindustriella biprodukter<sup>1)</sup></b>	95-121	155-171	205-221	20	23
<b>Skogsflis, klass I<sup>2)</sup></b>	135	182	221	9	11
<b>Skogsflis, klass II<sup>3)</sup></b>	144	194	235	9	11
<b>Skogsflis, klass III<sup>4)</sup></b>	151	213	252	4	5
<b>Skogsflis, klass IV<sup>5)</sup></b>	165	226	266	12	15
<b>Energiskog och halm</b>	137-190	191-220	220-231	1,5	1,5
<b>Förädlade trädbränslen<sup>6)</sup></b>	204	289	352	12	17
<b>Torv<sup>7)</sup></b>	112	110	128	4	5
<b>Brännbart avfall<sup>8)</sup></b>	-150-80	-150-90	-150-103	21	24
<b>Ved, hushåll</b>	-	-	-	11	11

<sup>1)</sup> Industrins biprodukter (sågverksflis, träavfall, bark mm). Indelat i två underklasser: en för intern industriell användning, och en tillgänglig för en gemensam marknad med övriga energisystemet.

<sup>2)</sup> GROT och rötved, kortare transportavstånd

<sup>3)</sup> GROT och rötved, längre transportavstånd

<sup>4)</sup> Massavedskvalitet

<sup>5)</sup> Massavedskvalitet plus import

<sup>6)</sup> Pellets, briketter, pulver. Distributionskostnad för användning i småhus tillkommer.

<sup>7)</sup> Exklusive svavelskatt

<sup>8)</sup> Olika klasser indelade i blandat hushålls- och industriavfall, RT-flis samt övriga returbränslen. Bränslepriset för blandat avfall inkluderar mottagningsavgift.

Utöver de biobränsleslag som redovisas i *Tabell 6* inkluderas även mindre resurser av tall- och tallbeckolja samt biogas. För biobränslen antas inga ytterligare påslag tillkomma för användaren (utöver det som visas i *Tabell 6*). Undantaget från denna regel utgör pellets för enskild uppvärmning där påslaget är 225 SEK/MWh.

## Styrmedel

### Skatter

I samtliga beräkningar har de viktigaste existerande energi- och klimatpolitiska styrmedlen i Sverige tagits med. Detta inkluderar koldioxid- och energiskatter på fossila bränslen samt elskatt. Svavelskatter och NO<sub>x</sub>-avgifter ingår ej i beskrivningen.<sup>3</sup> De sektorsvisa energi- och koldioxidskatterna beskrivs i

<sup>3</sup> Merparten av anläggningarna inom el- och fjärrvärmeproduktionen antas idag vara utrustade med tillräckligt avancerad svavelrening. Därmed torde heller inte svavelskatten vara en ekonomisk faktor av relevans inom åt-

MARKAL-NORDIC i enlighet med *Tabell 7* nedan. Elproduktion är befriad från CO<sub>2</sub>- och energiskatter

**Tabell 7** Koldioxid- och energiskatt för olika sektorer. Källa: Finansdepartementet (2009), "Effektivare skatter på klimat- och energiområdet" DS 2009:24.

	CO <sub>2</sub> -skatt (öre/kg)	Energiskatt (öre/kWh)
<b>Bostäder och service</b>	105 (Generell nivå)	Generell nivå enligt Tabell 8
<b>Hetvattenpannor</b>	99 (motsv 6% nedsättn)	Generell nivå enligt Tabell 8
<b>Kraftvärme (på värmeprod)</b>	7 (motsv 93% nedsättn)	2,5 (på samtl fossila bränslen)
<b>Industri (ETS)</b>	0 (motsv 100% nedsättn)	2,5 (på samtl fossila bränslen)
<b>Industri (icke-ETS)</b>	31 fr o m 2011 (motsv 70% nedsättn) 62 fr o m 2015 (motsv 40% nedsättn)	2,5 (på samtl fossila bränslen)

I *Tabell 8* visas de bränslespecifika (generell nivå) koldioxid- och energiskatterna.

**Tabell 8** Antagna skatter på bränslen för värmeproduktion samt el (generell nivå). Källa: Finansdepartementet (2009), "Effektivare skatter på klimat- och energiområdet" DS 2009:24.

	Energiskatt (SEK/MWh)	Koldioxidskatt (SEK/MWh) <sup>1)</sup>
<b>Tung eldningsolja</b>	80	294
<b>Lätt eldningsolja</b>	80	286
<b>Kol</b>	80	352
<b>Naturgas</b>	80	210
<b>El för hushåll, service och fjärrvärmeproduktion (södra Sverige)</b>	282	-
<b>El för industrin</b>	5	-

<sup>1)</sup> I modellen utgår vi från en generell koldioxidskatt per kg CO<sub>2</sub> för samtliga fossila bränslen. Beroende på vad man antar för utsläppskoefficient kan skatten, uttryckt i SEK/MWh, variera något.

I en känslighetsanalys kopplad till visionsscenarioet har vi även studerat effekterna av en högre CO<sub>2</sub>-skatt för den icke-handlande sektorn, i storleksordningen 2 SEK/kg CO<sub>2</sub> mot 2050.

### Utsläppsrätter för CO<sub>2</sub>

I samtliga beräkningsfall finns även EUs utsläppsrättssystem för koldioxid med. I referensfallet antar vi att prisnivån följer det som antogs under arbetet med EURELECTRICs "Roadmap for a carbon-neutral European electricity sector by 2050" ("Baseline"). I visionsscenarioet har vi förutom EURELECTRICs uppskattningar för "Domestic climate action" även lutat oss emot de beräkningar som gjordes under NEP-projektet ([www.nordicenergyperspectives.org](http://www.nordicenergyperspectives.org)) för att samfällt i världen nå ett mål om en stabilisering av den globala temperaturökningen på 2°C. Detta innebär en prisutveckling på CO<sub>2</sub> enligt nedanstående tabell:

minstone el- och fjärrvärmeproduktionen. Detta antagande har viss betydelse för i synnerhet torv, som ju i Sverige inte omfattas av några andra bränsleskatter förutom just svavelskatt.

**Tabell 9** Antagen prisutveckling på utsläppsrätter för CO<sub>2</sub> inom EU ETS

EUR/t CO <sub>2</sub>	2010	2020	2030	2050
<b>Referensfall</b>	20 <sup>1)</sup>	25	32	47
<b>Visionsscenario</b>	20 <sup>1)</sup>	35	55	120

<sup>1)</sup> Egen bedömning.

För existerande anläggningar är antagandet att storleken på tilldelningen av utsläppsrätter inte påverkar driften av anläggningarna. Driftoptimeringen görs utifrån priset på utsläppsrätter. Tilldelningen ges ju oberoende av hur anläggningen körs. Om utsläppsrätterna inte används för den egna anläggningen har de ju en alternativintäkt genom att de kan säljas på en marknad. I beräkningarna har vi inte räknat med någon tilldelning till nya anläggningar. Det motsvarar ett auktionsförfarande.<sup>4</sup>

### Stöd och elcertifikat

Det svenska elcertifikatsystemet är i modellen inkluderat som ett produktionsmål i TWh (25 TWh ny förnybar kraft skall byggas ut till och med 2020 jämfört med utgången av 2002). Vi har utgått från att 6,5 TWh var elcertifikatberättigade vid systemets introduktion i maj 2003. Detta innebär att produktionsmålet för 2010 är satt till 18,5 TWh, d v s 12 TWh ny kraft tillkommer (i enlighet med den lagändring som beslutades under 2006). Från och med modellår 2016 antas att den existerande småskaliga vattenkraften har fasats ut ur systemet eftersom huvuddelen av denna bedöms ha tagits i drift före 2003.<sup>5</sup> Detta motsvarar 1,8 TWh per år. På motsvarande vis sänks produktionsmålet med 1,8 TWh. Ingen annan utfasning ur systemet beaktas i denna analys. Eftersom målnivån för 2016 är satt till 19,2 TWh (utöver det som fanns vid utgången av 2002) blir följaktligen produktionsmålet så som det beskrivs i modellen 23,9 TWh (=19,2+6,5-1,8). I *Tabell 10* visas produktionsmålet så som det är beskrivet i modellverktyget.

Vi antar att produktionsmålet hålls konstant efter modellår 2023 och tillåts vara i bruk till och med modellår 2037 (2035 i det verkliga systemet).

**Tabell 10** Antagna produktionsmål för förnybar elproduktion inom elcertifikatsystemet.

Modellår	2009	2016	2023	2030	2037	2044
<b>Produktionsmål definierat i modellen (TWh)<sup>1)</sup></b>	18,5	23,9	29,7	29,7	29,7	-
<b>Ökning jmfvt med 2002</b>	12	19,2	25	25	25	-

<sup>1)</sup> Det modellerade produktionsmålet är anpassat efter en viss utfasning av existerande kapacitet (småskalig vattenkraft).

Elcertifikatsystemets utformning antas generellt vara detsamma för samtliga studerade beräkningsfall. Vi har dock i en känslighetsberäkning även studerat ett fall där systemet antas vara i bruk under hela modellperioden, det vill säga även efter 2035.

De tekniker som i modellverktyget antas vara elcertifikatberättigade inkluderar biobränslekraftvärme (inklusive torv), industriellt biomottryck, vind (hav och land), solel, vågkraft samt ny vattenkraft. Ny vattenkraft bedöms dock ha en mycket liten potential (se mer längre fram).

<sup>4</sup> Därmed har vi också, i någon mån, underskattat viljan till nyinvesteringar i fossila anläggningar eftersom nya anläggningar i verkligheten får en stor andel utsläppsrätter genom gratis tilldelning. Detta gäller dock enbart fram till 2012, d v s endast en mycket kort del i en ny anläggnings totala livslängd. Därmed torde vårt antagande om auktionsförfarande även före 2012 ha liten betydelse.

<sup>5</sup> Ny småskalig vattenkraft är dock berättigad till elcertifikat men potentialen från sådana nya projekt antas vara mycket begränsad.

Miljöbonus för vindkraft i Sverige antas vara helt utfasad vid modellåret 2009 för landbaserad vindkraft medan bonusen för havsbaserad vindkraft antas vara i bruk till och med modellår 2009 på nivån 12 öre/kWh. Därefter tas stödet bort helt i beräkningsförutsättningarna. Inga andra svenska stödssystem finns beskrivna i modellverktyget.

## **De övriga länderna**

MARKAL-NORDIC inkluderar, förutom det stationära energisystemet<sup>6</sup> i Sverige, även detaljerade beskrivningar av de stationära energisystemen i Norge, Danmark och Finland. För Tyskland och Polen ingår en något förenklad beskrivning av respektive lands elproduktionssystem.

Av resursmässiga skäl har indata för de tre övriga nordiska länderna Norge, Finland och Danmark ej uppdaterats på motsvarande sätt som för Sverige inom ramen för detta projekt. Databaserna omfattar dock ett antal viktiga energi- och koldioxidskatter samt stöd även för dessa tre länder och beskriver läget från och med 1/1 2006 (1/7 2005 för Finland). Stödet som inkluderas avser i huvudsak vindkraft och antas fasas ut under de kommande 15-20 åren.

De övriga nordiska länderna omfattas också av EUs utsläppsrättssystem i beräkningarna. Detta gäller även modellbeskrivningen för det tyska och polska elproduktionssystemet. För Tysklands och Polens del ingår även nuvarande subventioner för vindkraft. För övrigt ingår dock inga skatter eller andra stöd för dessa två länder.

De antagna bränslepriserna (förutom vissa transmissions- och distributionspåslag) och vissa centrala teknikdata (kostnader och prestanda) är gemensamma för samtliga i modellen beskrivna länder.

## **Elhandel med grannländerna**

Elhandeln mellan de ingående länderna begränsas initialt av existerande överföringskapaciteter. Om det är ekonomiskt lönsamt så finns dock i modellbeskrivningen en möjlighet att förstärka överföringsförbindelserna genom nya investeringar.<sup>7</sup> I modellen finns dessutom ett antagande om en rimlig övre utbyggnadstakt för ny överföringskapacitet om den blir lönsam i beräkningarna. Elhandeln mellan länderna inom Norden och mellan de nordiska länderna och Tyskland/Polen är med andra ord ett modellresultat.

Dessutom ingår i modellen en importmöjlighet från Ryssland in till Finland. Denna import ligger på 7 TWh från och med modellår 2009 och antas vara så pass billig så att den alltid utnyttjas.

## **Elproduktion**

Här följer några viktiga antaganden angående den nordeuropeiska elproduktionen i allmänhet samt den svenska produktionen i synnerhet.

### **Kärnkraft**

I referensfallet antas att kärnkraftverken har en teknisk livslängd på 60 år (detta i enlighet med Energimyndighetens Långsiktsprogno 2008). Därefter stängs de svenska verken av. I visionsscenarioet antar vi att man får bygga nya reaktorer i Sverige då den 60-åriga livslängden för de existerande verken passerat. Vi har dock antagit att den totala installerade kapaciteten är densamma som i referensfallet då

<sup>6</sup> Med det stationära energisystemet avser vi här el- och fjärrvärmesystemen samt slutlig energianvändning inom hushåll, service och industrin. Transportsektorn är med andra ord exkluderad.

<sup>7</sup> För ny överföringskapacitet mellan länderna i modellen antar vi en investeringskostnad (omräknad till öre/kWh) på omkring 5-10 öre/kWh överförd el beroende på vilka länder som knyts samman. I denna kostnadsuppskattning ingår även ett antagande om att de nationella stamnäten inom respektive land måste förstärkas något.

fortfarande alla existerande reaktorer är i bruk och då effekthöjningsprogrammen antas vara genomförda. Effekthöjningsprogrammen i Sverige antas leda till något ökad produktion i kärnkraftverken enligt *Tabell 11*. Vi har dock inte räknat med att samtliga i nuläget planerade effekthöjningar förverkligas. I ett sådant fall skulle uppskattningsvis totalt 10,4 GW kärnkraft finnas med i kraftproduktionen från och med omkring 2015 (enligt en lägesbeskrivning för 2009) - att jämföra med de ca 10 GW vi antar här. Effekthöjningarna är i modellen inlagda som redan beslutade investeringar och betraktas därmed som "sunk costs" i modellen. Detta gäller även den femte reaktorn i Finland som beräknas leverera el med start i modellår 2009. I Finland tillåts man dessutom i modellen att från och med modellår 2030 investera i en sjätte reaktor om det visar sig ekonomisk lönsamt (och en sjunde från och med modellår 2037). I Tyskland antas kärnkraften följa den utfasning som den förra regeringen kom överens med kraftindustrin om. Detta betyder att kärnkraften i Tyskland är helt borta från och med modellår 2030 (detta ligger också i linje med de bedömningar som EURELECTRIC gör i sin "Roadmap"-studie). Ingen av de övriga ingående länderna förutsätts kunna bygga kärnkraft. Uppskattade kostnader för ny kärnkraft återfinns i *Tabell 12*.

**Tabell 11** Installerad effekt och förväntad årsproduktion för de svenska kärnkraftverken. (Uppgifter om installerad effekt i referensfallet har levererats av Energimyndigheten under arbetet med Långsiktsprognoz 2008. Vi förutsätter dessutom att tillgängligheten för de svenska kärnkraftverken ökar något, från ca 82% i startåret till ca 86% från och med modellår 2016)<sup>8</sup>

		2004	2009	2016	2023	2030	2037	2051
<b>Referensfall (60 års livslängd)</b>	<b>Installerad effekt (GW)</b>	9,48	9,47	10,08	10,08	10,08	7,05	0
	<b>Beräknad årsproduktion (TWh)</b>	68	69,7	75,9	75,9	75,9	53,1	0
<b>Visionsscenario (nya reaktorer)</b>	<b>Installerad effekt (GW)</b>	9,48	9,47	10,08	10,08	10,08	10,08	10,08
	<b>Beräknad årsproduktion (TWh)</b>	68	69,7	75,9	75,9	75,9	75,9	75,9

**Tabell 12** Uppskattade kostnader för ny kärnkraft (en samlad bedömning baserad på Citigroups analys i samband med den brittiska regeringens planer på ny kärnkraft från 2009 samt bedömningar gjorda under NEP-projektet).

<b>Investeringskostnad (SEK/kW el)</b>	<b>Fast D&amp;U (SEK/kW el)</b>	<b>Rörlig D&amp;U (SEK/MWh el)</b>	<b>Bränslekostnad (SEK/MWh el)</b>	<b>Ekonomisk livslängd (år)</b>
30 000	500	30	50	35

## Vattenkraft

I beräkningarna antas i referensfallet att endast 0,5 TWh ny vattenkraft kan tillkomma i Sverige utöver det som finns idag (2008). Vi antar att hälften av detta omfattar effekthöjningar i storskalig vattenkraft till en total produktionskostnad på omkring 40 öre/kWh (7% real kalkylränta) och att den andra halvan omfattas av ny småskalig vattenkraft till en total produktionskostnad på ca 50 öre/kWh (7% real kalkylränta). I visionsscenarioet antar vi däremot att ca 4 TWh ny vattenkraft får byggas ut fram till 2050 till en kostnad på omkring 50 öre/kWh. Den antagna ekonomiska livslängden för ny vattenkraft är 35-42 år beroende på storlek.

<sup>8</sup> Från och med 2006 ingår ej längre Barsebäck i produktionssystemet vilket innebär att den samlade svenska kärnkraftkapaciteten det året uppgick till omkring 9 GW. Detta innebär att de förmodade effekthöjningarna i de återstående reaktorerna mellan 2006 och modellår 2016 uppgår till ca 1 GW. En del av effekthöjningarna antas vara genomförda modellår 2009 varför den installerade kapaciteten det året är i det närmaste identisk med kapaciteten i 2005 då fortfarande Barsebäck II ingick i produktionen.

I Norge kan ny vattenkraft motsvarande omkring 8 TWh tillkomma till och med modellår 2023, förutsatt att modellen finner dessa investeringar lönsamma.

## Gaskraft

Från och med modellår 2009 antas det nya gaskraftvärmeverket i Malmö leverera el till elnätet (och fjärrvärme till respektive fjärrvärmesystem). Tillsammans med övrig gaskraftvärme utgör därmed den samlade redan existerande eller redan beslutade installerade kapaciteten av gaskraftvärme i Sverige omkring 0,9 GW. I Norge förutsätter beräkningarna att ett gaskondenskraftverk på 420 MW uppförts på Vestlandet (Kårstø) från och med modellår 2009 samt ytterligare ett på 260 MW (Mongstad) från och med modellår 2016, det vill säga totalt 680 MW. Ytterligare gaskraft i Norden kan i modellberäkningarna tillkomma genom nyinvesteringar.

Typiska indata för gasbaserad kraft- och kraftvärmeproduktion presenteras i *Tabell 13* nedan.

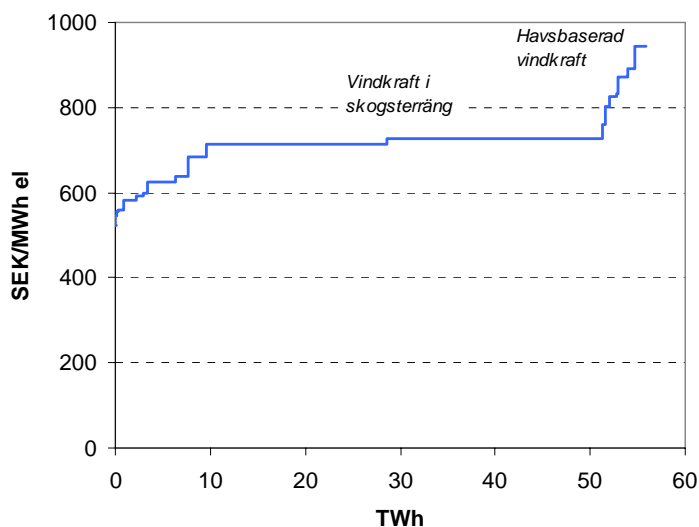
**Tabell 13** Typiska data för gasbaserad kraft- och kraftvärmeproduktion

	Investering	Fast D&U	Rörlig D&U	Verkningsgrad (%)	Alfavärde	Livslängd (år)
<b>Kondenskraft</b>	7000	40	15	57	-	21
	SEK/kW el	SEK/kW el	SEK/MWh el			
<b>Kraftvärme</b>	8000-9500	70	20	50 (el)	1,2	21
	SEK/kW el <sup>1)</sup>	SEK/kW el	SEK/MWh el			

<sup>1)</sup> Storleksberoende

## Vindkraft

I modellen ingår 12 olika landbaserade klasser respektive 9 olika havsbaserade klasser i Sverige. Sammantaget ger dessa klasser nedanstående utbudskurva (total produktionskostnad och produktionspotential) för vindkraft (se *Figur 2*). Förutsättningarna baserar sig på Elforsk-uppdraget "Vindkraft i framtiden" (2008). Vi har dock i denna studie justerat kostnaderna uppåt (baserat på referensgruppens synpunkter och egna bedömningar) jämfört med det som ursprungligen antogs i Elforsk-studien.



**Figur 2** Utbudskurva för ny vindkraft i Sverige för modellår 2016 och framåt (Källa: ELFORSK 2008, "Vindkraft i framtiden samt projektspecifika antaganden"). Utbudskurvan förutsätter en real kalkylränta på 7%.

Den totala potentialen och kostnadsbilden för svensk vindkraft är densamma i referensfallet och i visionsscenarioet. Beräkningsutfallet för vindkraft kan dock bli helt olika beroende på de skilda omvärldsförutsättningarna i de bägge scenarierna.

I beräkningarna antar vi ingen teknisk utveckling, det vill säga investeringskostnad och prestanda för vindkraft antas vara desamma idag som i framtiden.

Även för de övriga ingående länderna finns en detaljerad beskrivning av existerande vindkraft såväl som eventuellt tillkommande projekt. Indelningen varierar från en havs- och en landbaserad kostnads-klass (Tyskland och Polen vardera) till Norges 12 landbaserade (eller kustnära) kostnads-klasser.

## Biobränslekraft

Ny biobränslebaserad kraftproduktion kan i modellen ske i en lång rad olika tekniker och olika storleksutföranden omfattande bl a konventionella kraftvärmeverk, IGCC-anläggningar (Integrated Gasification Combined Cycles), sodapannor (med och utan förgasning), biogasmotorer samt multifuelanläggningar som kan sameldas med torv och kol. De huvudsakliga begränsningarna för biobränslebaserad kraft relateras till bränsleresurser och bränslepriser samt fjärrvärmeunderlag. Typiska data för ett konventionellt biobränslekraftvärmeverk återfinns i *Tabell 14*. Med rökgaskondensering, vilket förutsätts för dessa anläggningar, landar totalverkningsgraden på omkring 110% räknat på det undre värmevärdet.

**Tabell 14** Typiska data för ett konventionellt biobränslekraftvärmeverk med rökgaskondensering i två storleksutföranden (Antagandena bygger på ELFORSK 2007, "El från nya anläggningar 2007", rapport 07:50).

	Investering	Fast D&U	Rörlig D&U (SEK/MWh el)	Verkningsgrad (%)	Alfavärde	Livslängd (år)
<b>Stort verk (&gt; 50 MW el)</b>	21000 SEK/kW el	220 SEK/kW el	35 SEK/MWh	32 (el)	0,41	21
<b>Litet verk (~30 MW el)</b>	26000 SEK/kW el	310 SEK/kW el	60 SEK/MWh el	28 (el)	0,36	21

För biobränslebaserade tekniker antas generellt ingen reduktion av investeringskostnaderna över tiden med undantag för IGCC-anläggningar.

I modellbeskrivningen ingår även avfallsbaserad kraft- och värmeproduktion. Trots höga investeringskostnader så är detta generellt ett mycket lönsamt alternativ på grund av de negativa bränslekostnaderna (tack var mottagningsavgifterna).

I modellbeskrivningen för Tyskland och Polen är biobränslemöjligheterna långt mer begränsade än för de nordiska länderna (även i Norge är möjligheterna tämligen begränsade på grund av det relativt begränsade fjärrvärmeunderlaget även på längre sikt). Vi antar i beräkningarna att biobränsle kan användas i sameldning i såväl existerande moderna som nya stenkolskraftverk med en maximal inblandning på mellan tio och tjugoprocent räknat i energienheter. För Tysklands del tillkommer dessutom biobränsleeldad kraftvärme med en på förhand antagen utbyggnad över tiden.

## Övrig förnybar kraft

De antagna kostnads- och tillgänglighetsdata för solceller och vågkraft presenteras i *Tabell 15*.

**Tabell 15** Antagna kostnadsdata för solex och vågkraft (Källor solex: egen samlad bedömning utifrån flera källor; Källa vågkraft: egen bedömning samt Energistyrelsen (2005), "Technology data for electricity and heat generating plants")

Modellår	Solex		Vågkraft	
	2016	2037	2016	2037
<b>Investeringskostnad (SEK/kW el)</b>	25000	10000	35000	35000
<b>D&amp;U (SEK/kW el, år)</b>	220	100	550	300
<b>Utnyttjningstid (timmar per år)</b>	1100	1100	4500	4500

Inga ytterligare subventioner utöver elcertifikatintäkter antas komma vågkraft respektive solex till godo. Det statliga investeringsstödet för solex som infördes från och med 1 juli 2009 gäller i nuläget endast till 2011. Med tanke på modellberäkningarnas långa tidsperspektiv har vi här valt att helt exkludera detta stöd.

### CCS (Carbon Capture and Storage)

Avskiljning och deponering av CO<sub>2</sub> finns med som en option att väsentligt minska utsläppen från vissa fossila kraftslag i samtliga modellerade länder. CCS är i modellbeskrivningen inkluderad som tilläggs-tekniker som kan adderas till "konventionella" kraftverk i de nordiska länderna. I Tyskland och Polen däremot har vi av modelltekniska skäl valt att tillåta CCS endast genom investeringar i helt nya elproduktionsanläggningar där CCS ingår från början.

För CCS-anläggningar antas en avskiljningsgrad på 90 % samt en minskning i elverkningsgrad med typiskt 9 %-enheter jämfört med en konventionell anläggning. Kostnadsantagandena rörande CCS i MARKAL-NORDIC bygger i allt väsentligt på IPCC(2005), IEA(2004) och ENCAP-projektet (2008) samt egna bedömningar<sup>9</sup>. Typiska CCS-kostnader visas i *Tabell 16* (kostnaderna är beroende på bland annat kalkylränta, bränslepris, CO<sub>2</sub>-pris med mera). Vi har dessutom antagit att lagringspotentialen är i det närmaste oändlig för de modellerade länderna. Man ska dock komma ihåg att det i nuläget råder tämligen stora osäkerheter beträffande kostnader och potentialer för CCS i samband med kraftproduktion. Detta eftersom det helt enkelt saknas kommersiell erfarenhet. Med tanke på detta har vi valt en relativt konservativ ansats i våra antaganden.

**Tabell 16** Exempel på typiska merkostnader för CCS i anslutning till stora kondenskraftverk (antagandena baseras på IPCC(2005) och IEA(2004)).

	CO <sub>2</sub> -avoidance cost <sup>1)</sup> (SEK/kg)	Merkostnad för elproduktion <sup>2)</sup> (SEK/MWh el)	Transport och lagring av CO <sub>2</sub> <sup>3)</sup> (SEK/kg CO <sub>2</sub> )
<b>Kolkraft (pulverpanna)</b>	~ 0,3	~ 180	0,04-0,09
<b>Gaskraft (NGCC)</b>	~ 0,5	~ 150	0,04-0,09

<sup>1)</sup> "CO<sub>2</sub>-avoidance cost" är definierad utifrån merkostnaden för CCS-anläggningen (jmfrit med en konventionell motsvarighet) och den utsläppsminskning som därvid uppnås.

<sup>2)</sup> Här ingår inte transport och lagring av CO<sub>2</sub>. Detta tillkommer i nästa kolumn.

<sup>3)</sup> Generellt antas att Sverige och Finland har längre avstånd till lämpliga lagringsplatser och, därmed, högre transportkostnader än Norge och Danmark.

<sup>9</sup> IPCC (2005): "IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage", Cambridge University Press, ISBN-13 978-0-521-86643-9. IEA (2004): "Prospects for CO<sub>2</sub> Capture and Storage", ISBN 92-64-10881-5. ENCAP-projektet <http://www.encapco2.org/publicsumreports.htm>.

## Fjärrvärme

Den slutliga fjärrvärmeanvändningen är, på samma sätt som delvis elanvändningen, ett modellresultat där fjärrvärmen konkurrerar med andra uppvärmningsformer. För de nordiska länderna i modellen gäller att fjärrvärmen är indelad i två olika klasser beroende på värmetetthet. Användargrupper som antas ha hög värmetetthet är till exempel servicesektorn och flerfamiljshus. Här är nät- och distributionskostnaderna relativt sett lägre än för användargrupper som karaktäriseras av låg värmetetthet, till exempel småhus. Som nämnts tidigare så saknas en beskrivning av fjärrvärmen helt för Tyskland och Polen i modellen.

Fjärrvärme kan produceras med en lång rad olika tekniker och bränslen, till exempel spillvärme, värmepumpar, avfallsvärme, gas- och bibränslevärme. En viktig koppling mellan elsystemet och fjärrvärmesystemet finns i kraftvärmeproduktionen.

Tabell 17 visar två exempel på typiska kostnader att producera fjärrvärme i värmeverk.

Tabell 17 Typiska produktionskostnader för fjärrvärme i värmeverk.

	Investering (SEK/kW värme)	Fast D&U (SEK/kW värme)	Rörlig D&U (SEK/MWh värme)	Verknings- grad (%)	Livslängd (år)
<b>Naturgas</b>	1450	22	20	90	21
<b>Biobränsle</b>	4000 SEK/kW värme	100 SEK/kW värme	25 SEK/MWh värme	88	21

## Övrigt

Kalkylräntan är satt till 7 procent (real) och kronkursen antas vara 9,3 SEK=1EUR. För huvuddelen av teknikerna inom el- och fjärrvärmeproduktion antas en ekonomisk livslängd på 21 år. Undantag är till exempel ny vattenkraft (35-42 år beroende på storlek) och ny kärnkraft i Finland (35 år). I modellbeskrivningen görs ingen skillnad på teknisk och ekonomisk livslängd.

Kolanvändningen i Sverige antas vara begränsad för el- och fjärrvärmeproduktion till 10 TWh per år vilket är något mer än den faktiska användningen vi hade i Sverige under början av 2000-talet (denna begränsning i modellbeskrivningen har tillkommit i samråd med Energimyndigheten). Detta är en viktig begränsning eftersom kolet annars tenderar att få större genomslag i beräkningarna på grund av låga bränslekostnader, även om man inkluderar utsläppsrättshandel med inte ”alltför höga” utsläppsrättspriser. Vi tror dock att det i verkligheten finns andra politiska och miljömässiga skäl (utöver EU ETS och CO<sub>2</sub>-skatter) som inte inkluderas i modellbeskrivningen men som gör att kolanvändning inom Sveriges el- och fjärrvärmeproduktion kommer att vara tämligen begränsad även i framtiden. Detta skulle därmed motivera den modellmässigt införda begränsningen.

## Bilaga 2: Kort om MARKAL-modellen

Energimodellen MARKAL (MARKet ALlocation) utvecklades i slutet av 1970-talet i ett samarbete mellan Brookhaven National Laboratory i USA och Kernforschungszentrum Jülich i Tyskland. MARKAL är en modell över det tekniska energisystemet. Den ursprungliga modellformuleringen är beskriven av Fishbone et al och Fishbone and Abilock<sup>10</sup>. MARKAL-modellen har nått en unik spridning över hela världen varför en stor samlad erfarenhet av MARKAL-användning finns tillgänglig. Modellen bygger på linjärprogrammering, d.v.s. en matematisk algoritm för att lösa optimeringsproblem där målfunktion (den som ska optimeras) och randvillkor är uttryckta som linjära ekvationer. Målfunktionen är generellt den totala systemkostnaden och skall minimeras. Randvillkor kan exempelvis utgöras av verkningsgrader för en viss typ av anläggning, miljökrav, kraftöverföringsförbindelser mellan länder, energianvändning i en viss sektor mm. Energisystemet i modellen beskrivs utifrån referensenergi-konceptet (RES)<sup>11</sup>. Detta illustrerar energiflödena från utvinning av bränslen och råvaror via omvandling för kraft- och fjärrvärmegenerering till slutlig användning av bränslen, el och fjärrvärme i en rad olika sektorer, exempelvis hushåll och industrier. Lösningen på en modellkörning är med andra ord den kombination av tekniker som från energiutvinning eller – import, via omvandling till exempelvis el och fjärrvärme, till slutlig användning ger den lägsta kostnaden.

Teknikerna i modellen beskrivs med investeringskostnader, kostnader för drift och underhåll, livslängd, verkningsgrad och tillgänglighet. Det som så att säga driver hela modellen är behovet av energi i olika sektorer. Detta energibehov kan uttryckas som antingen ett behov av nyttig energi eller ett behov av slutlig energi. I MARKAL finns en lastkurva för el och fjärrvärme som beskriver den årliga variationen. Elanvändningen är därvidlag uppdelad i sex årliga tidssteg medan fjärrvärmeanvändningen representeras av tre.

Modellen är dynamisk i den bemärkelsen att upp till nio individuella men av varandra beroende tidssteg (exempelvis år) kan beskrivas. Generellt är tidshorisonten 15-30 år in i framtiden. Själva beskrivningen av det valda energisystemet finns i modelldatabasen.

### Den nordiska databasen

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

<sup>10</sup> Fishbone L G, Giesen G, Goldstein G, Hymnen H A, Stocks K J, Vos H, Wilde D, Zölcher R, Balzer C and Abilock H (1983), "User's Guide for MARKAL (BNL/KFA Vesion 2.0), Report BNL-51701, Department of Applied Science, Brookhaven National Laboratory, Upton, NY

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

<sup>11</sup> Marcuse W, Bodin L, Cherniavsky E and Sanborn Y (1976), "A Dynamic Time Dependent Model for the Analysis of Alternate Energy Policies", K B Haley (Ed.), *Operational Research* '75, 647-667, North Holland Publishing Company, Amsterdam