



Fördjupad scenarioanalys och kvantifiering av rådets fyra scenarier

Slutrapport, maj 2014

Profu



NEPP report

Maj 2014

Rapport till Samordningsrådet för smarta elnät

Fördjupad scenarioanalys och kvantifiering av rådets fyra scenarier

Slutrapport, maj 2014

Bo Rydén, Profu

Erik Axelsson, Profu

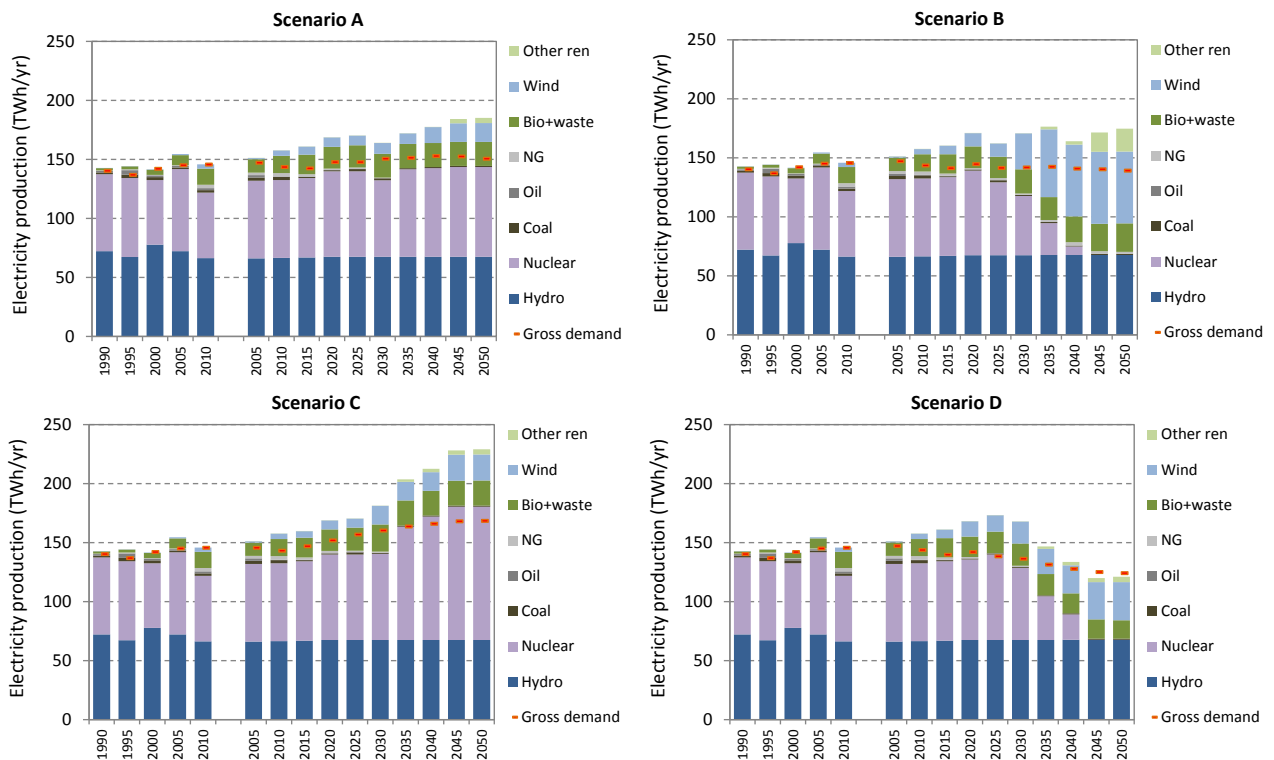
Thomas Unger, Profu

Håkan Sköldberg, Profu

Sammanfattning

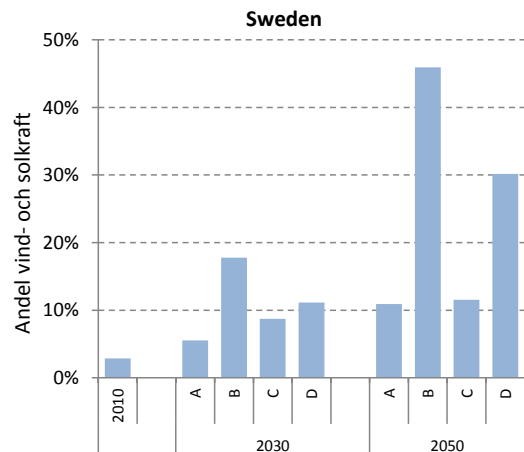
Under 2013 har rådet, tillsammans med Kairos Future och rådets olika grupper, arbetat fram fyra olika scenarier (A-D). Det är ett kvalitativt scenarioarbete. I NEPP har vi utvecklat en serie energisystemscenarier för elsystemets utveckling i Sverige och övriga Nordeuropa. I detta arbete har vi – i en fördjupad scenarioanalys - kopplat rådets kvalitativa scenarier, där den mer generella samhällsutvecklingen står i fokus, till NEPP:s kvantitativa scenarier för el- och energisystemets utveckling.

Härigenom har vi fått en kvantitativ beskrivning av hur el- och energisystemet utvecklas i rådets fyra scenarier. Denna redovisas utförligt i rapporten, och nedan ges den svenska elproduktionens och elanvändningens utveckling i de fyra scenarierna som exempel.



Elproduktion i Sverige (staplarna) samt den svenska elanvändningen (streckad linje). ("Other ren" är till övervägande del solkraft.)

En av rådets två scenariodimensioner är "långsam respektive snabb ökning av intermitterant kraftproduktion". Scenario B och D präglas av snabb ökning, medan scenario A och C av långsam. I figuren till höger anger vi andelen intermitterant kraftproduktion i Sverige från elproduktionsfigurerna ovan, dvs. summan av vind- och solkraft dividerat med den totala elproduktionen. Överensstämmelsen mellan rådets scenariobeskrivning och våra resultat är god, särskilt för år 2050. Den allra största andelen intermitterant kraft återfinns i scenario B, det scenario i vilket förnybar kraft uppmantras särskilt mycket.



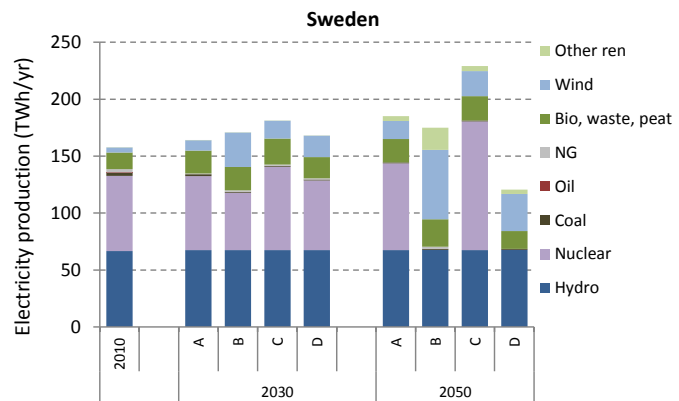
Det tekniska el- och energisystemet är ett trögörligt system. Den existerande energiinfrastrukturen, i form av produktions-, distributions- och användartekniker, ersätts långsamt. De flesta tekniker i det svenska, nordiska och europeiska elsystemet har tekniska livslängder på 30-50 år, eller mer. På 15 år, alltså tiden fram till 2030, kan man inte förvänta sig en särskilt stor förändring av det tekniska systemet, även om incitamenten för förändring stärks. På 35-40 år däremot, tiden fram till 2050, kan förändringen bli mycket större.

I våra modellresultat för de fyra scenarierna kan vi också mycket tydligt se detta. I figuren till höger har vi lyft ut resultaten för den svenska elproduktionen för åren 2030 och 2050. Vi kan konstatera att de stora skillnaderna mellan scenarierna inte får särskilt stort genomslag i elproduktionens sammansättning till 2030 (möjligen med undantag för scenario B), men däremot stort genomslag till 2050, när det

tekniska energisystemet kunnat svara upp emot omvärldsförändringarna fullt ut. I rådets kvalitativa scenariobeskrivningar av hur det tekniska el- och energisystemet utvecklas, är det lätt att få uppfattningen att förändringen av systemet kan ske snabbt (till 2030). Våra modellberäkningar ger alltså ingen grund för det.

Rådets beskrivning av de fyra scenarierna (A-D) inkluderar både en beskrivning av hur omvärlden och hur det tekniska systemet utvecklas. I vår scenariometod är omvärldsbeskrivningen utgångspunkten (indata) för modellberäkningar, och utvecklingen av det tekniska energisystemet vårt modellresultat. I rapporten har vi redovisat hur vi "synkroniserat" rådets omvärldsbeskrivningar med våra scenariondata, för att få bästa möjliga överensstämmelse för det tekniska energisystemets utveckling. Generellt har överensstämmelsen blivit god, och skillnaderna mellan rådets beskrivningar och våra resultat är små. Några få skillnader finns dock, och dessa redovisas i rapporten.

Vi har dessutom inkluderat ett kort avsnitt som beskriver scenarierna såsom vi skulle ha gjort, om vi hade beskrivit dem på det sätt som vi normalt beskriver våra scenarier på. Fokus i vår beskrivning ligger på de drivkrafter i energisystemets omvärld, som påverkar systemets utveckling, exempelvis energi- och klimatpolitikens utveckling i Sverige och EU.



Innehåll

Sammanfattning	3
Rapportens upplägg och innehåll	6
Inledning och bakgrund	6
Genomförande och metod	7
Vår metod för scenarioformulering och analys	7
Synkronisering av vår och rådets metod för scenariobeskrivningarna	7
Antaganden om utvecklingen av de fyra omvärldsfaktorerna i scenario A-D	7
Rådets beskrivningar av omvärldsfaktorernas utveckling i scenarierna	8
Vår formulering av scenarierna för den kvantitativa modellanalysen	9
Politiska mål, styrmedel och övriga beslut	9
Teknikutvecklingen och tillgängligheten av ny teknik	9
Energibehovets utveckling, inkl. energieffektiviseringar	10
Prisutvecklingen och tillgången på de internationella bränslemarknaderna	10
Vår ”scenarioberättelse” om de fyra scenarierna A-D	11
Beräkningsresultat med Markal/Times-modellen för scenarierna A-D	13
Elproduktionen i Norden och Sverige	13
Nordisk elproduktion	13
Nordisk elproduktionskapacitet	14
Svensk elproduktion och export/import	14
Andelen vind- och solkraft	16
Elanvändningens utveckling	16
Nordisk export/import av elenergi till/från Kontinenten	17
Elproduktionen i Tyskland	17
Kärnkraften	19
Elprisutvecklingen	20
Skillnader mellan våra beräkningsresultat och rådets beskrivningar	23
Skillnaderna	23
Elsystemet förändras långsamt - till 2030 händer bara lite, till 2050 händer mycket mer	23
En alltför liten ökning av den förnybara elproduktionen i scenario D i våra beräkningar?	24
Elprisutvecklingen i de olika scenarierna	24
Energilagring	24
Jämförelsen	24

Rapportens upplägg och innehåll

I denna rapport redovisas arbetet med att fördjupa och kvantifiera de fyra scenarier som formulerats inom Samordningsrådets tidigare arbeten. Rapporten omfattar följande:

- Beskrivning av vår metod för scenarioanalys med Markal/Times-modellen, och vilka likheter och skillnader som finns med den metod som rådet använt för att formulera scenarierna.
- Tillvägagångssättet för att synkronisera rådets metod och vår metod för scenariobeskrivningarna.
- En kvantitativ formulering av rådets fyra scenarier, anpassade för vår Markal/Times-analys.
- Genomförda modellkörningar/beräkningar för de fyra scenarierna.
- Presentation av ett stort antal resultat i diagramform, för alla fyra scenarierna.
- En jämförelse av hur väl våra kvantitativa scenarier överensstämmer med rådets, vilka skillnader som finns och hur de kan förklaras.

Dessutom har vi inkluderat ett kort avsnitt som beskriver scenarierna såsom vi skulle ha gjort, om vi hade beskrivit dem på det sätt som vi normalt beskriver våra scenarier på. Fokus i vår beskrivning ligger på de drivkrafter i energisystemets omvärld, som påverkar systemets utveckling, exempelvis energi- och klimatpolitikens utveckling.

Inledning och bakgrund

Rådet har i sitt kommittédirektiv uppgiften att redovisa ett eller flera framtidsscenarier för utvecklingen av Sveriges elnät, inklusive smarta elnät, med tidsperspektivet fram till minst 2030.

Under 2013 har rådet, tillsammans med Kairos Future och rådets olika grupper, tagit fram ett kvalitativt scenarioarbete. Rådet har i sina dokument 14:1.6b, 14:1.6c samt "Bilaga 3 - Progress scenarioarbete"¹, beskrivit sina fyra scenarier. Det är ett kvalitativt scenarioarbete baserat på två huvuddimensioner:

- x. långsam respektive snabb ökning av intermitterent kraftproduktion
- y. upplevd nytta av smarta elnät

I NEPP har vi utvecklat en serie energisystemscenarier, som ger en helhetsbeskrivning av elsystemets utveckling i Sverige och övriga Nordeuropa. Uppgiften nu är att koppla rådets kvalitativa scenarier, där den mer generella samhällsutvecklingen står i fokus, till NEPP:s kvantitativa scenarier för el- och energisystemets utveckling.

Vi har alltså utnyttjat våra erfarenheter från NEPP-scenarierna, som en grund för denna uppgift och genomfört kvantifieringsarbetet med utgångspunkt i dem. Samtidigt har vi vidareutvecklat NEPP:s scenarioanalyser så att de överensstämmer med rådets scenarier och ger kvantifieringar av den framtida utvecklingen ur ett smarta-elnätsperspektiv. För att åstadkomma detta har vi gjort nya och skraddarsydda scenariouppsättningar, och gjort om modellkörningarna med vår Markal/Times-modell för dessa scenariouppsättningar.

¹ Dokument 14:1.6b: "Information om pågående scenarioarbete" 2014-01-09.
Dokument 14:1.6c: "Samordningsrådets slutliga framtidsscenarier" 2014-01-09.
Bilaga 3: "Information om pågående scenarioarbete" 2013-10-29

Genomförande och metod

Vår metod för scenarioformulering och analys

Markal/Times är en modell över det tekniska energisystemet och dess utveckling. Modellen omfattar elsystemet, men också värmeförsörjningen och industrins energiförsörjning. Även transportsektorns behov av exempelvis el omfattas. Den Markal/Times-version vi utnyttjar för denna uppgift hanterar de nordiska länderna samt Tyskland och Polen. Modellen innehåller en detaljerad beskrivning av hela det tekniska system vi har idag i dessa länder, samt alla de alternativ som står till buds för den framtida utvecklingen.

Modellen beräknar, genom optimering, den mest kostnadseffektiva utvecklingen av hela energisystemet under den studerade perioden (2010-2050), för ett givet scenario. Varje scenario definieras utifrån olika antaganden om utvecklingen i det tekniska energisystemets omvärld. Vi har valt att beskriva omvärldsutvecklingen utifrån fyra faktorer, eller grupper av faktorer. Antaganden om utvecklingen av dessa fyra omvärldsfaktorer formar vår beskrivning av scenarier:

1. Politiska mål, styrmedel och övriga beslut
2. Teknikutvecklingen och tillgängligheten av ny teknik (såsom de förnybara teknikerna, elnät och CCS)
3. Energibehovets utveckling, inkl. energieffektiviseringar
4. Prisutveckling och tillgång på bränslemarknaderna (olja, kol, naturgas och bibränslen)

Utformningen och utvecklingen av energisystemets olika delsystem, exempelvis elsystemet, blir sedan ett resultat av modellberäkningen för varje scenario. Hur mycket förnybart som byggs ut, om kraftnätet förstärks, om användningen av de fossila bränslena minskar eller om elvärme byts mot annan uppvärmningsform bestäms inte på förhand, utan är exempel på de resultat som modellen räknar fram.

Synkronisering av vår och rådets metod för scenariobeskrivningarna

Rådets beskrivning av de fyra scenarierna (A-D) omfattar både en beskrivning av hur omvärlden och det tekniska systemet utvecklas. För att få konsistens med rådets beskrivningar, genomför vi vår analys i fyra steg:

- Vi identifierar, scenario för scenario, de antaganden som rådet gjort om hur de fyra omvärldsfaktorerna 1-4 ovan utvecklas.
- Vi sammanställer och genomför modellberäkningar för scenarierna utifrån dessa omvärldsantaganden (och eventuella kompletterande antaganden, där rådets beskrivningar inte är tillräckligt detaljerade).
- Vi gör en jämförelse av hur utvecklingen av det tekniska energisystemet blir i våra kvantitativa modellresultat jämfört med rådets kvalitativa beskrivningar av det tekniska systemets utveckling.
- Utifrån denna jämförelse föreslår vi sedan eventuella korrigeringar, antingen i våra analyser eller i rådets beskrivningar.

Antaganden om utvecklingen av de fyra omvärldsfaktorerna i scenario A-D

Utgångspunkten, och metoden, för våra analyser är alltså antaganden om de fyra omvärldsfaktorerna, scenario för scenario. Nedan redogör vi för hur vi sammanställt rådets beskrivningar av omvärlds-

faktorerna, och strukturerat dem efter vår indelning i fyra grupper. Utifrån denna sammanställning har vi sedan gjort den formulering av scenarierna som vi använt i vår kvantitativa modellanalys. Denna redovisas översiktligt i påföljande avsnitt (redovisningen blir mer omfattande i slutrapporten), dels i punkt- och tabellform, dels som en ”scenarioberättelse”.

Rådets beskrivningar av omvärldsfaktorernas utveckling i scenarierna

Med utgångspunkt i rådets scenariobeskrivningar i dokumenten 14:1.6b, 14:1.6c samt ”Bilaga 3 - Progress scenarioarbete”, har vi identifierat ett antal skrivningar som anger hur ”våra fyra omvärldsfaktorer” utvecklas (eller kan utvecklas). De återges nedan, för respektive omvärldsfaktor:

1. Politiska mål, styrmedel och övriga beslut
 - a. Säker trend för alla scenarier: **Ökade konkreta miljökrav.**
 - b. Viktig strategisk osäkerhet för scenarierna: **Politiskt klimat – fortsatt liberalisering eller ökat fokus på regleringslösningar.**
 - c. Viktig strategisk osäkerhet för scenarierna: **Kärnkraften – avvecklas eller finns kvar.**
 - d. Särskilt för scenarierna B och D: **Incitament (bl.a. ekonomiska) för utbyggnad av förnybar elproduktion. Politisk vilja/reglering stark.**
 - e. Särskilt för scenarierna D: **EU-gemensam kapacitetsmarknad införs.**
2. Teknikutvecklingen och tillgängligheten av ny teknik
 - a. Särskilt för scenarierna B och D: **Teknisk utveckling: Förnybar elproduktion (främst småskaliga anläggningar), lagringslösningar, effektutbyggnad och kraftöverföring**
3. Energibehovets utveckling, inkl. energieffektiviseringar
 - a. Säker trend för alla scenarier: **Fokus på energieffektivisering.**
 - b. Säker trend för alla scenarier: **Elberoendet ökar.**
 - c. Viktig strategisk osäkerhet för scenarierna: **Elektrifiering av transportsektorn – svag och långsam eller stark och snabb.**
4. Prisutveckling och tillgång på bränslemarknaderna
 - a. Viktig strategisk osäkerhet för scenarierna: **Fossilbränslepriser – långsam ökning/snabb ökning.**

Samtidigt beskriver rådet hur viktiga delar av det tekniska energisystemet utvecklas, eller kan utvecklas, i scenarierna. Bl.a. anger man som en ”säker trend för alla scenarier” att:

- Användningen av fossila bränslen minskar
- Mer intermittent elproduktion
- Ökad mikroproduktion och egenproducerad el
- Elektrifiering av transportsektorn
- Ökad integrering med Europa

Dessutom anges att reinvesteringar sker i kärnkraften i scenario A och C medan kärnkraften avvecklas i scenario B och D. Energilagring får ett genombrott i scenario B och D. CCS byggs ut Tyskland i scenario C.

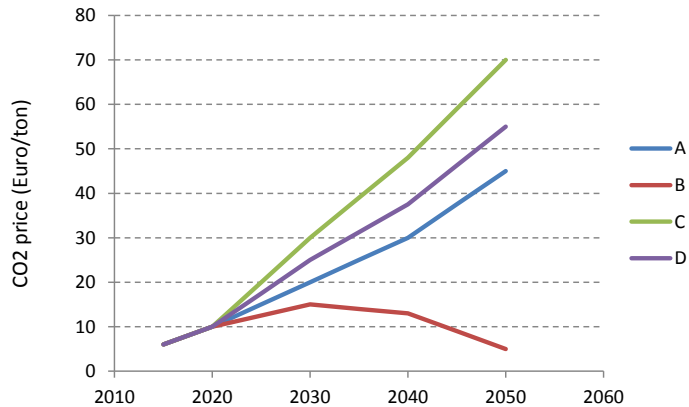
I våra Markal/Times-analyser av scenarierna är utvecklingen av det tekniska energisystemet däremot - som ovan sagts – ett beräkningsresultat, och alltså inget som bestäms ”på förhand”.

Vår formulering av scenarierna för den kvantitativa modellanalysen

Nedan redovisas de viktigaste indata för Times/Markalmodellen för de fyra scenarierna. I underlagsrapporten "Viktiga beräkningsförutsättningar i Times/Markal" ges en mer utförlig redovisning.

Politiska mål, styrmedel och övriga beslut

Indata för prisutvecklingen för CO₂-priset (EUA) på EU ETS anges i figuren nedan.



Figur: Antagen CO₂-prisutveckling i de fyra scenarierna A-D.

Antagandena om förnybarhetsmålen i Sverige och i vissa grannländer anges nedan. För våra övriga grannländer är motsvarande antaganden gjorda:

- Elcertifikat i Norge och Sverige till 2035, därefter antas certifikatsystemet upphöra.
- Inga nationella styrmedel efter 2020 för elproduktionen i något av de ingående länderna. Istället ett gemensamt mål för förnybart elproduktionen i alla länder i Europa. Detta mål ökar successivt under perioden och når upp till nivåer på 75% förnybart i elproduktionen år 2050.
- Förnybarhetsmålet tas bort efter 2020 och certifikatsystemet upphör.
- Elcertifikatsystemet i Norge och Sverige fortsätter att öka ända till 2050.

Antagandena om effektiviseringsmål/ambition:

- Fortsatt måttlig ambition, såsom idag, och inga nya bindande EU-mål
- Något högre ambition än idag, dock utan bindande EU-mål
- Låg ambition
- Mycket högre ambition än idag och bindande EU-mål

Teknikutvecklingen och tillgängligheten av ny teknik

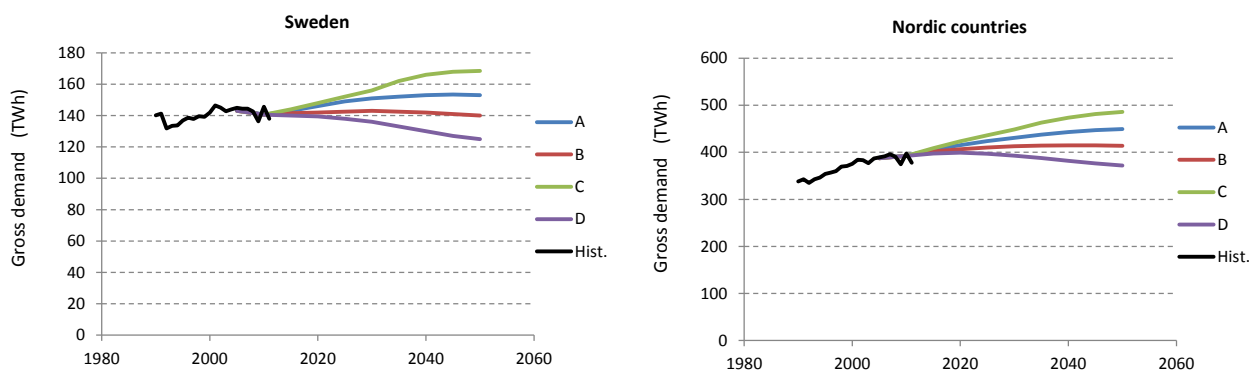
Följande scenarioskiljande antaganden har gjorts:

- Måttlig teknikutveckling
- Focus på grön teknik som vindkraft, solpaneler, efterfråge- och systemåtgärder för att hantera variabel produktion och konsumtion.
- Mer kärnkraft än A och satsning på utveckling av CCS
- Måttlig teknikutveckling

I övrigt är takten och graden av teknikutveckling gemensam för alla scenarier.

Energibehovets utveckling, inkl. energieffektiviseringar

Antagandena om elbehovsutvecklingen i Sverige och Norden, från 2015 till 2050. Figuren anger "riktvärden" för scenarierna. Den andel av elanvändningen som är substituerbar, är ett resultat i Times/Markal-beräkningen, och kan avvika från riktvärdet (se vidare i resultatkapitlet nedan om jämförelsen mellan resultatet och riktvärdet).



Figur: Elanvändningen i Sverige och Norden, historiska värden (officiell statistik) samt scenarioantaganden (riktvärden)

I tabellen nedan anges den procentuella utvecklingen av elanvändningen (riktvärdet) i Sverige från 2015 till 2050.

TWh/år	Scenario			
	A	B	C	D
2015-2050	+7%	-1%	+17%	-11%

Antagandena om värmebehovets utveckling i Sverige framgår enligt nedan. För övriga grannländer har ett motsvarande antagande gjorts:

- A. Svagt avtagande
- B. Minskande till ca 80 % av behovet år 2010
- C. Svagt ökande
- D. Minskande till ca 65 % av behovet år 2010

Prisutvecklingen och tillgången på de internationella bränslemarknaderna

Antagandena om bränsleprisutvecklingen baseras på IEA:s scenarier i World Energy Outlook (WEO)². (I underlagsrapporten "Viktiga beräkningsförutsättningar i Times/Markal" ges en utförligare beskrivning av bränsleprisantaganden och tillgång):

- A. Enligt WEO 2013 – New Policy Scenario.
- B. Enligt WEO 2013 – 450 PPM Scenario.
- C. Enligt WEO 2013 – New Policy Scenario.
- D. Enligt WEO 2013 – 450 PPM Scenario.

² International Energy Agency (IEA), "World Energy Outlook 2013", 12 November 2013, www.iea.org.

Vår "scenarioberättelse" om de fyra scenarierna A-D

Här beskriver vi scenarierna såsom vi skulle ha gjort, om vi hade beskrivit dem på det sätt som vi normalt beskriver våra scenarier på. Vår utgångspunkt är då de fyra omvärldsfaktorerna ovan, med stort fokus på antagandena om den politiska utvecklingen.

Den energi- och klimatpolitik som väljs i EU och medlemsstaterna kommer att ha stor påverkan på kraftsystemets utveckling i Sverige och i våra grannländer. Nu processar EU sin "vitbok", och ett viktig ställningstagande för politiken efter 2020 och 2030 är om man skall ha separata och bindande mål för förnybar energi och energieffektivisering, eller om man skall satsa tydligare och mer ensidigt på ett enda bindande mål: klimatmålet. EU-kommissionens respektive EU-parlamentets förslag/beslut skiljer sig här åt, genom att kommissionen anger ett bindande mål och parlamentet tre.

Vid sidan om EU så för de olika medlemsstaterna sin egen energi- och klimatpolitik vars effekter även kan få spridning utanför det egna landets gränser. Flera medlemsstater, däribland Sverige, vill "gå före" och nå energi- och klimatmålen snabbare än vad EU anger. Den tyska "Energiewende", som bl.a. inkluderar en kärnkraftavveckling till och med 2022 är ett annat tydligt exempel på en sådan nationell politik. I de allra flesta av Nordeuropas länder är satsningen på förnybar energi särskilt tydlig.

Relaterat till EU-kommissionens vitbok och besluten i EU-parlamentet om energi- och klimatpolitiken till 2030, samt till de olika medlemsstaternas nationella politiska ambitioner, formulerar vi fyra scenarier för el- och energisystemets utveckling, att analysera:

- A. Referens: Ett referensscenario, med en trendframskrivning av dagens ambitioner
- B. Ett mål - Förnybart: En mycket stor och snabb (och ensidig) satsning på förnybart
- C. Ett mål – Klimatet: Ett ensidigt fokus på klimatmålet, med ett relativt tufft klimatmål
- D. Tre mål: En satsning på tre bindande mål, effektivisering, förnybart och klimat/växthusgaser

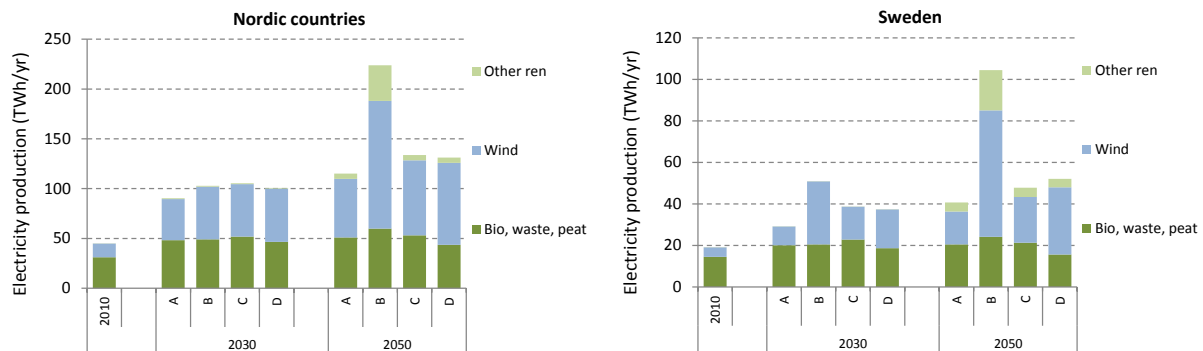
EU-parlamentet har alltså beslutat om tre bindande mål, och scenario D är därmed i linje med det. EU-kommissionen har beslutat om ett bindande klimatmål (och ett EU-gemensamt icke-bindande mål för förnybart), och scenario C är alltså i linje med det.

Dessutom sker, särskilt i scenario A och B, en stor och accelererande IT-utveckling i samhället. Denna påverkar energisystemets utveckling på ett genomgripande sätt i scenario B, och även - men inte i samma utsträckning - i scenario A. I B påverkas också förnybarinvesteringarna av att slutkonsumenterna investerar i större utsträckning. I scenario C och D är det istället en mer centralstyrd utveckling av energisystemet, där politiska mål, styrmedel och övriga ramverk styr utvecklingen.

Scenario A: Scenariot präglas av den nuvarande uppsättningen politiska instrument, med en trendframskrivning av nuvarande ambitionsnivåer för förnybart, energieffektivisering och växthusgasreduktion. Kärnkraftinvesteringar tillåts i Europa, men i begränsad omfattning och elbehovet ökar (Figur ovan). Klimatpolitiken kännetecknas av fortsatta men relativt måttligt ökande ambitioner. Detta motsvarar ett EUA pris på 20 EUR/t 2030 och 45 EUR/t 2050.

Scenario B: Scenariot karaktäriseras av en stor och ensidig satsning på förnybar energi. Den viktigaste drivkraften är ett mycket högt satt politiskt mål för förnybart, drivet av en gemensam europeisk politisk ambition. Inga nya kärnkraftverk får byggas inom EU, förutom de verk som för närvarande är

under byggnad; inga reinvesteringar i befintliga verk får heller inte göras. Dessutom är CCS inte en möjlighet i detta scenario. Anledningen till att inte använda CCS kan t.ex. vara politisk, teknologisk eller relaterad till allmän acceptans. I kontrast till scenarierna C och D, som illustrerar två sätt att möta mycket tuffa klimatmål, lägger inte detta scenario fokus på att minska CO₂-utsläppen. Men låga CO₂-utsläpp blir förstas resultatet av mycket ambitiösa mål för förnybart. *Det primära målet med scenariot är istället att analysera konsekvenserna av en mycket stor andel förnybar och variabel elproduktion i Sverige och Europa.* Figuren nedan visar den stora mängden biobränsle-, vind- och solbaserad elproduktion i detta scenario jämfört med motsvarande produktion i de övriga scenarierna.



Figur: Elproduktion med biobränslen, vind och sol i det nordiska och svenska elsystemet i de fyra scenarierna. ("Other ren" är tillövertvägande del solkraft.)

Scenario C: Scenariot präglas av EU-kommissionens beslut om ett bindande mål, klimatmålet, men utan bindande mål för förnybart eller energieffektivisering. Samtidigt kombineras i detta scenario ambitiösa klimatmål med relativt hög tillväxt av elbehovet. Därmed blir el i sig en koldioxidminskande åtgärd inom t.ex. transporter, uppvärmning och industriprocesser. Detta möjliggörs genom en successiv minskning av CO₂-utsläppen i elförsörjningen. Scenariot uppnår ungefär samma klimatmål för 2050 som scenariot D. I scenariot är dock det dominerande politiska instrumentet ett utsläppsrätts-handelssystem, och CO₂-priset är relativt högt: c:a 30 EUR/t 2030 och 70 EUR/t 2050.

Scenario D: Scenariot präglas av EU-parlamentets beslut om tre bindande mål för växthusgaser, förnybart och energieffektivisering. Scenariot kännetecknas samtidigt av politisk detaljstyrning, speciellt vad gäller effektiviserings- och förnybartåtgärder, samt av en nationell politisk infallsvinkel snarare än av en gemensam europeisk utformning av styrmedel. De politiska kraven för energieffektivitet i sluttanvändningen medför en avmattning av elbehovet.

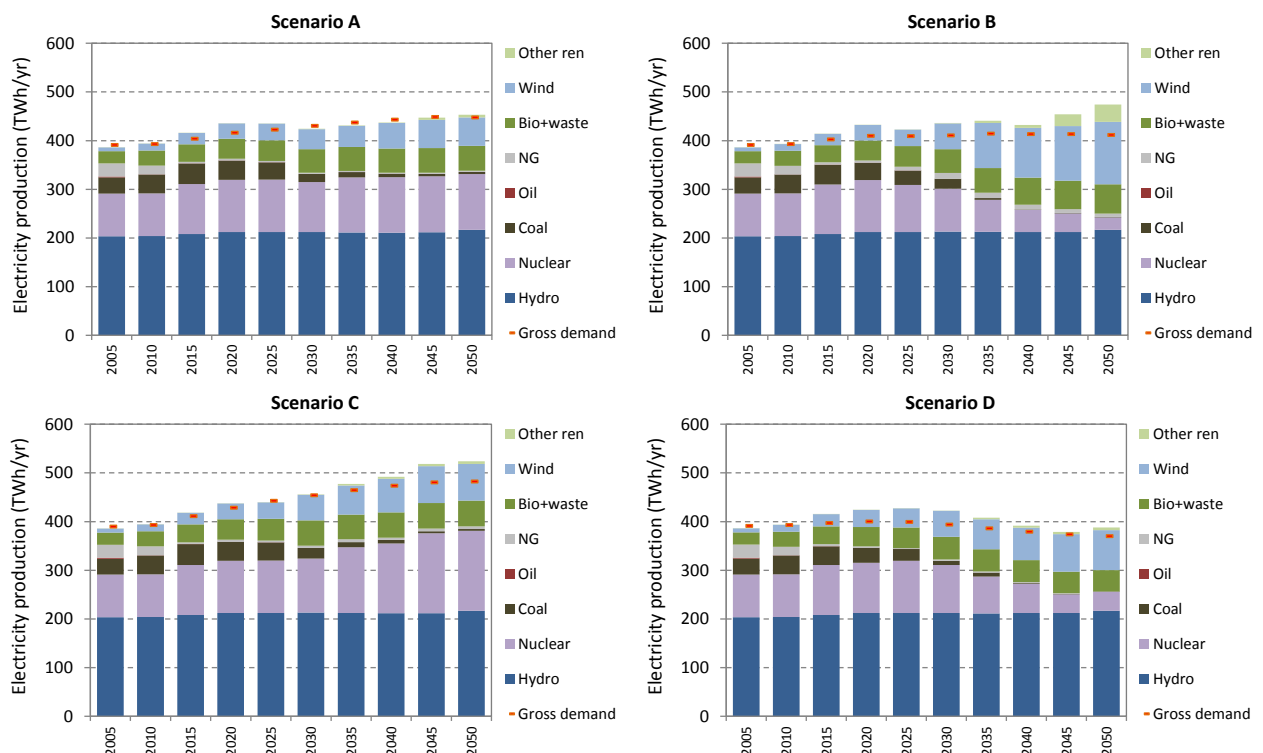
Beräkningsresultat med Markal/Times-modellen för scenarierna A-D

Elproduktionen i Norden och Sverige

Vi väljer att redovisa utvecklingen av den samlade nordiska elproduktionen först, eftersom vår elmarknad är nordisk, och beskriver därefter den svenska elproduktionen.

Nordisk elproduktion

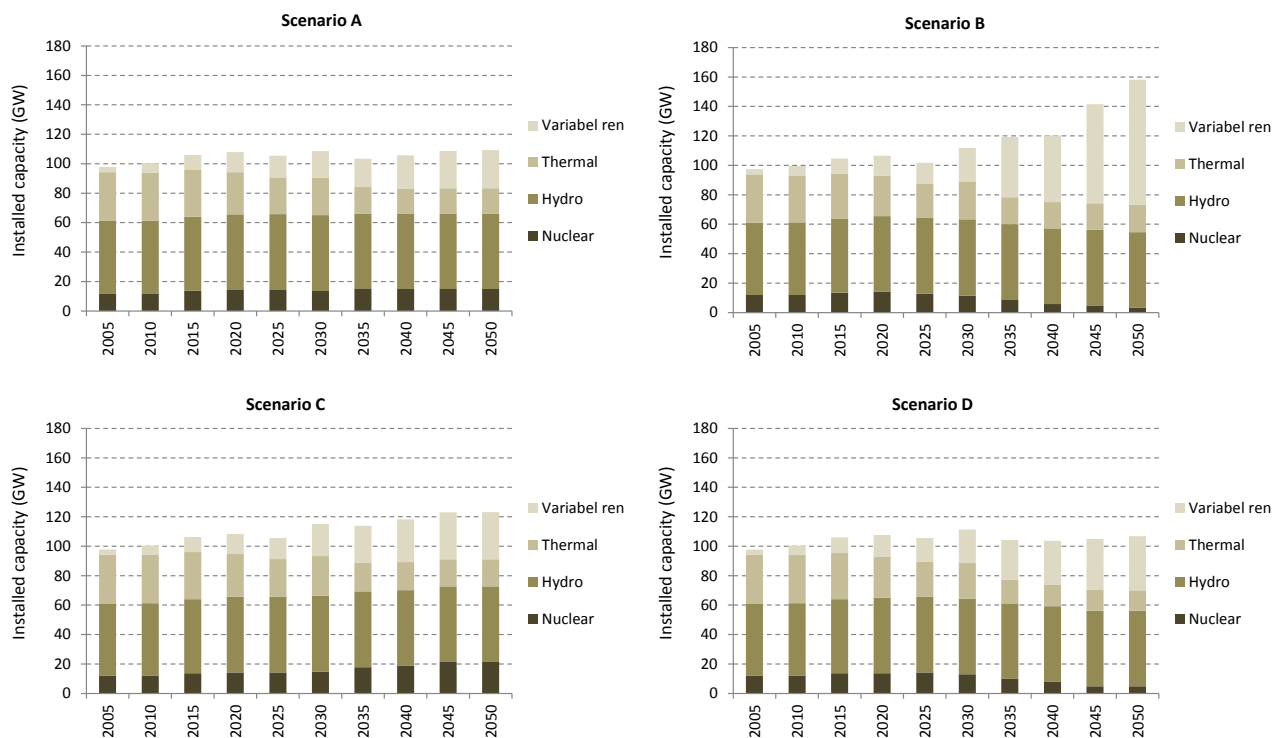
Vattenkraften växer långsamt, och lika mycket (cirka 5 TWh till 2030 och 10 TWh till 2050), i samtliga scenarier. Den största ökningen sker i Norge. Kärnkraften bibehålls på ungefär dagens nivå i scenario A, medan den ökar i scenario C, där gamla verk ersätts med nya och större verk. I scenario B avvecklas kärnkraften i relativt snabb takt och är helt avvecklad före 2050 medan avvecklingen i scenario D är något långsammare, och de nya finska verken är kvar till år 2050. Den kol- och naturgaseldade kraftproduktionen ersätts successivt under den studerade perioden, och CCS blir därför inte aktuellt att utnyttja i nordisk kraftproduktion i något av scenarierna. Biobränsleeldad elproduktion i kraftvärme och mottryck ökar i scenario A-C, även om ökningen är relativt måttlig p.g.a. att det värmeunderlag i fjärrvärme och industri som finns kvar att utnyttja är begränsat. I scenario D minskar produktionen som en följd av att scenariots stora energieffektivisering leder till en minskning av värmeunderlaget i fjärrvärme och industri. Vindkraften ökar i samtliga scenarier, och ökningen är särskilt stor i scenario B, men även betydande i scenario C och D. Ökningen i scenario B, tillsammans med en tydlig ökning av solcellsproducerad el ("other ren" i figurerna nedan), är signifikant för scenariot. Ökningen av vindkraften i scenario C är en följd av den stora ökningen av elanvändningen i Norden och EU, och sker alltså samtidigt som bl.a. ökningen av kärnkraftsproduktionen. I scenario D ökar också vindkraften. Ökningen i Norden i scenario D är dock relativt måttlig, jämfört med B, men ökningen i Nordeuropa som helhet är stor (se figurerna över produktionen i Tyskland nedan).



Figur: Elproduktion i Norden (staplarna) samt den nordiska elanvändningen (streckad linje). ("Other ren" är tillövertvägande del solkraft.)

Nordisk elproduktionskapacitet

Elproduktionskapacitetens sammansättning förändras relativt lite fram till 2050 i scenario A. Andelen variabel produktionskapacitet (vindkraft och solkraft) ökar, men ökningen är måttlig och kan enkelt hanteras av kraftsystemet. I scenario C och D ökar den variabla andelen mer än i scenario A, men når ändå bara upp till relativt måttliga nivåer vid slutet av den studerade perioden. I scenario B däremot ökar den variabla produktionskapaciteten kraftigt, från dagens cirka 10 GW till 80-90 GW år 2050 (vid en total produktionskapacitet på 160 GW). Den stora installerade effekten i den variabla elproduktionen indikerar de utmaningar som elsystemet då kommer att stå inför. Eftersom produktionen från exempelvis vindkraftverken kan variera från liten till stor på kort tid och på ett delvis svårprognoserat sätt så måste annan elproduktion, eller elkonsumtionen, snabbt anpassas till dessa växlingar.

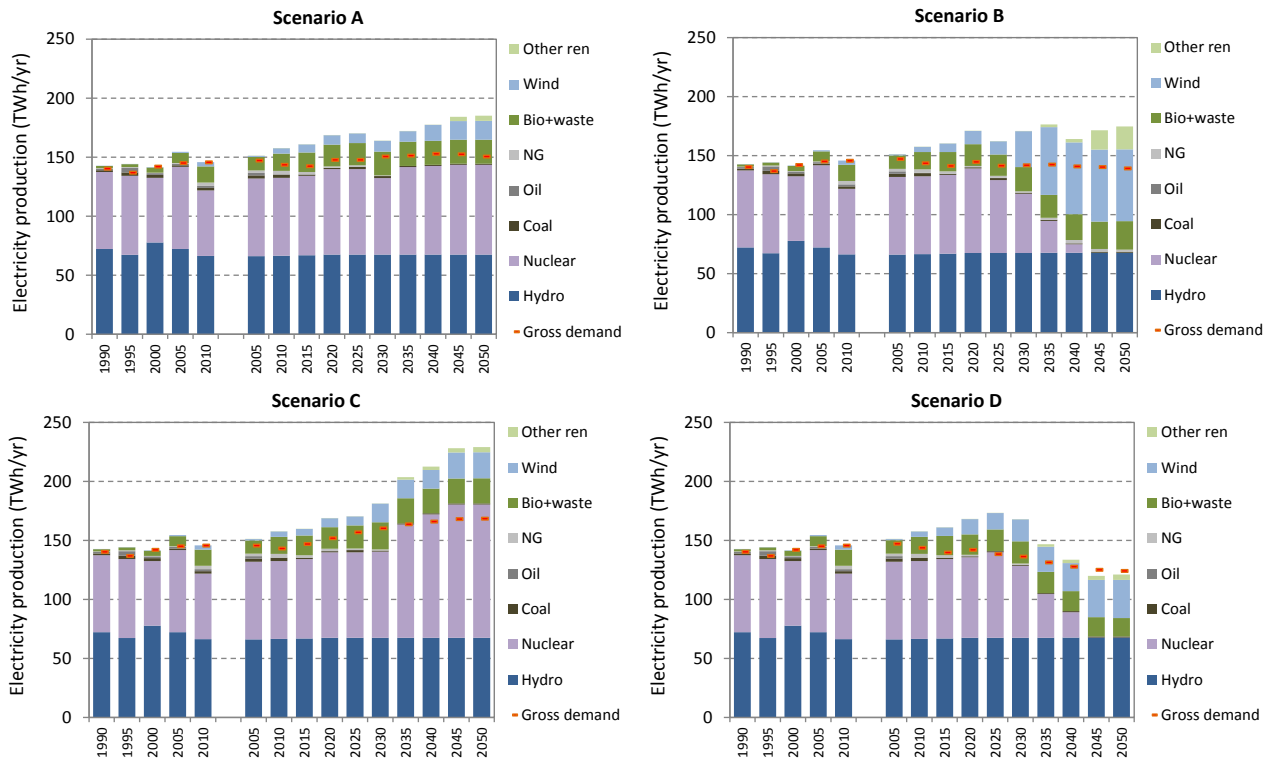


Figur: Elproduktionskapacitet i Norden

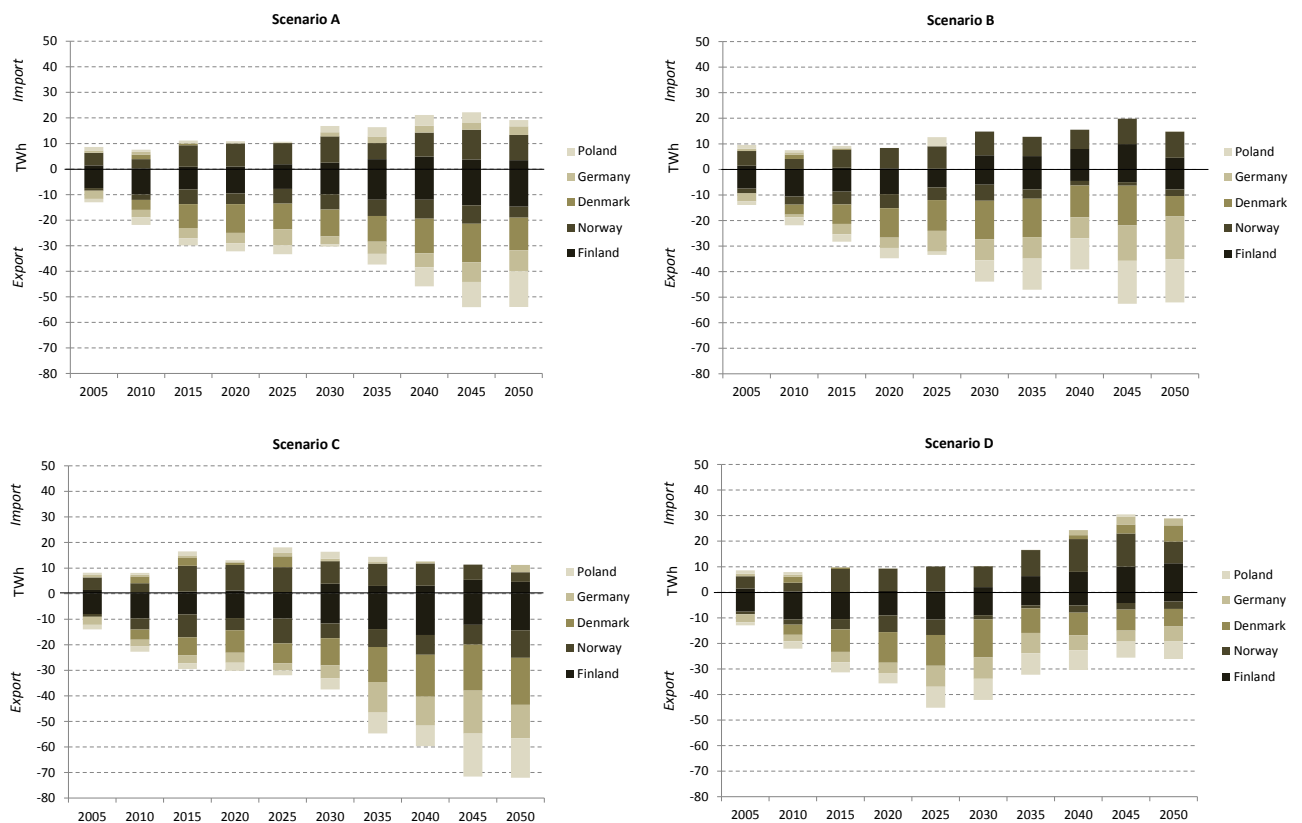
Svensk elproduktion och export/import

Utvecklingen av elproduktionen i Sverige har naturligtvis stora likheter med den nordiska i de fyra scenarierna, men det finns ett par viktiga skillnader: kärnkraften och exporten/importen (se figurerna på nästa sida). Kärnkraftsproduktionens andel är större i svensk produktion än i nordisk och därför blir också effekterna av den avveckling som sker i scenario B och D större. I scenario B ersätts hela den svenska kärnkraftsproduktionen inom landet. Det ger utrymme för en fortsatt stor export av elenergi från Sverige – i paritet med den i scenario A - under hela den studerade perioden, trots att kärnkraften alltså avvecklas. I scenario D däremot ersätts inte kärnkraftselen i lika stor utsträckning med ny produktion inom Sverige, eftersom det är mer kostnadseffektivt att – p.g.a. minskande förbrukning i hela Europa – istället importera kraft från grannländerna. Denna utveckling är den direkt motsatta mot den i scenario C, där vi både har en reinvestering i svensk kärnkraft och en ökande

elanvändning i Europa. Då blir istället den svenska kraften mycket konkurrenskraftig, och vi når i detta scenario de största exportvolymerna (åtminstone efter 2030).



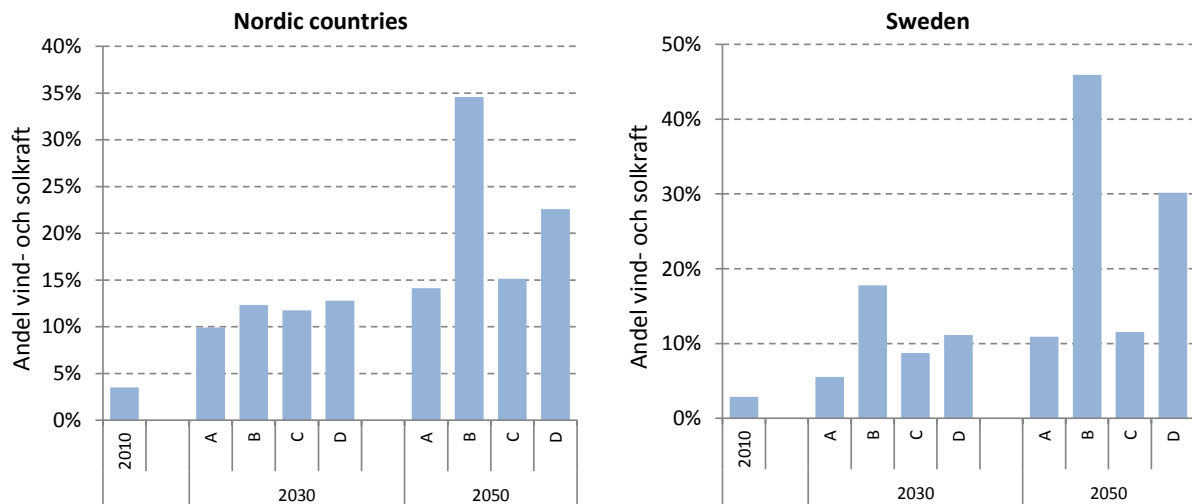
Figur: Elproduktion i Sverige (staplarna) samt den svenska elanvändningen (streckad linje).



Figur: Import och export av elenergi till och från Sverige.

Andelen vind- och solkraft

En av rådets två scenariodimensioner är "långsam respektive snabb ökning av intermittent kraftproduktion". Scenario B och D präglas av snabb ökning, medan scenario A och C av långsam. I figuren nedan anger vi andelen intermittent kraftproduktion från elproduktionsfigurerna ovan, dvs. summan av vind- och solkraft dividerat med den totala elproduktionen. Överensstämmelsen mellan rådets scenariobeskrivning och våra resultat är god, särskilt för år 2050. Den allra största andelen intermittent kraft återfinns i scenario B, det scenario i vilket förnybar kraft uppmuntras särskilt mycket.



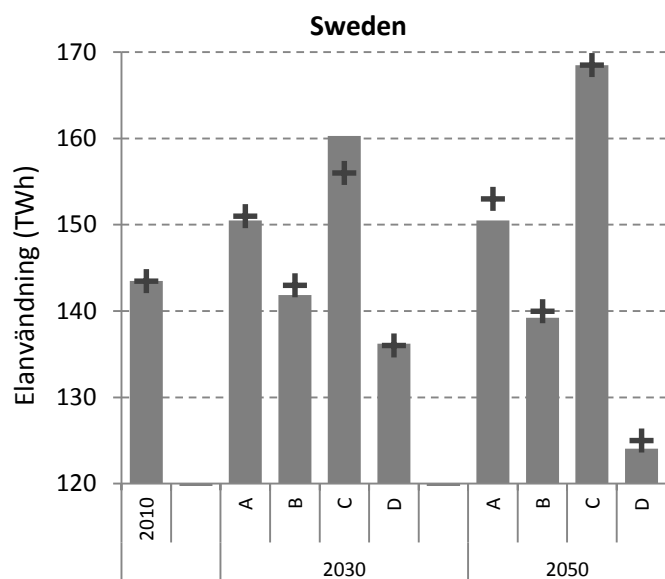
Figur: Andelen intermittent kraftproduktion (vind- och solkraft) i nordisk respektive svensk elproduktion i de fyra scenarierna, för åren 2030 och 2050.

Elanvändningens utveckling

Utvecklingen av elanvändningen är både indata och resultat i våra Times/Markal-beräkningar. Den icke substituerbara elen ges som indata, medan modellen själv avgör hur mycket av den substituerbara elen som är kostnadseffektivt att använda; dvs. om man skall öka eller minska dess användning jämfört med idag.

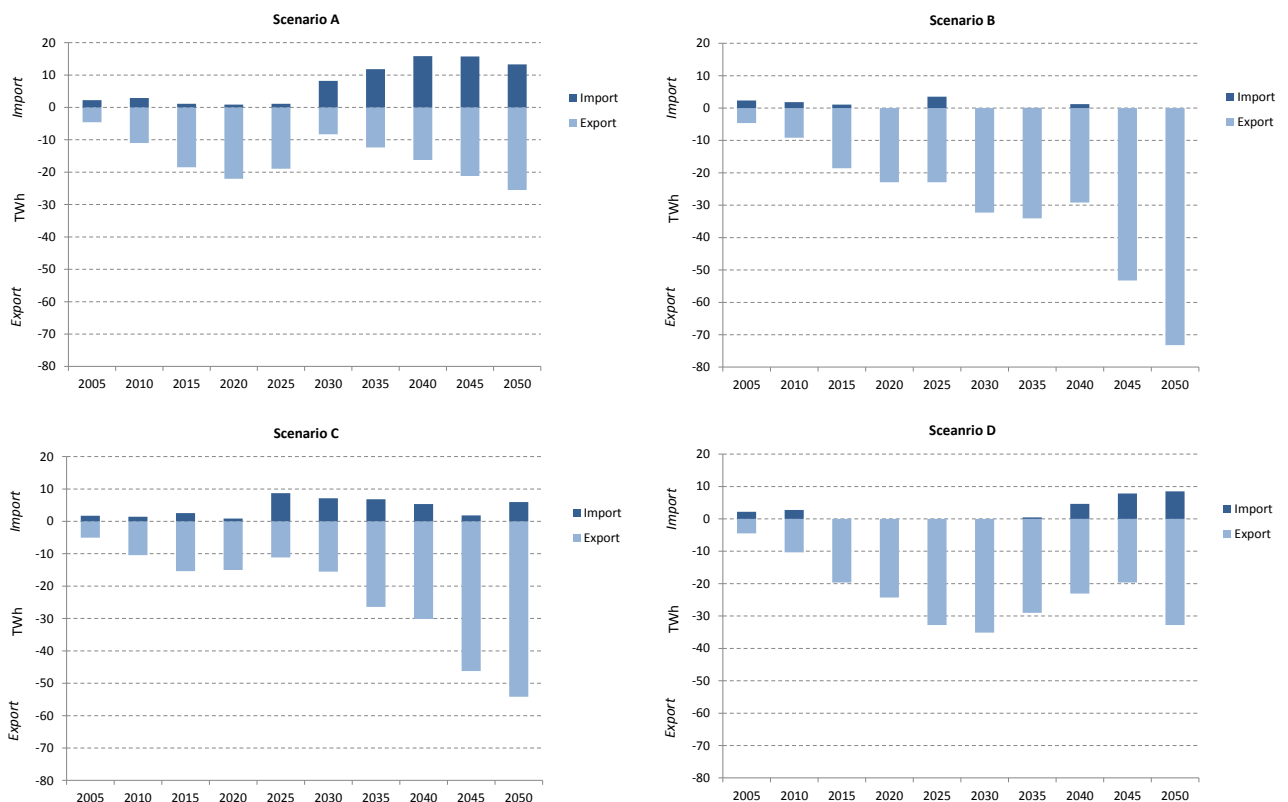
I avsnittet om indata ovan, angavs de riktvärden som vi haft vid scenarioformuleringen, och figuren till höger visar att resultatet ligger mycket nära dessa riktvärden.

Figur: Elanvändningen i Sverige i de fyra scenarierna, för åren 2030 och 2050. Beräkningsresultatet anges som staplar, och riktvärdena som svarta plustecken (observera att skalan på y-axeln inte startar från noll).



Nordisk export/import av elenergi till/från Kontinenten

Utvecklingen av elenergihandeln mellan Norden och Kontinenten (här Tyskland och Polen), skiljer sig något från utvecklingen av den svenska elenergihandeln i de fyra scenarierna. I scenario A når vi en balans mellan exporten och importen runt 2030 (alltså samtidigt som vi har en stor svensk export – se figuren ovan). I scenario B och C dominerar exporten, även om den här är större i scenario C än i B; för Sverige är förhållandet det omvända. I både scenario B och C byggs också överföringskapaciteten ut rejält mellan Norden och Tyskland/Polen. Till 2030 ökar den från 3 GW till 6 GW och till 2050 når den 10 GW. I scenario D vänder handelsströmmen, precis som den gjorde för Sverige, men för Norden vänds den inte till en slutlig nettoimport, utan vi har fortfarande en nettoexport mot slutet av den studerade perioden. Förklaringen till skillnaden mellan Norden och Sverige är kärnkraftens roll (se särskilt avsnitt om kärnkraften nedan).

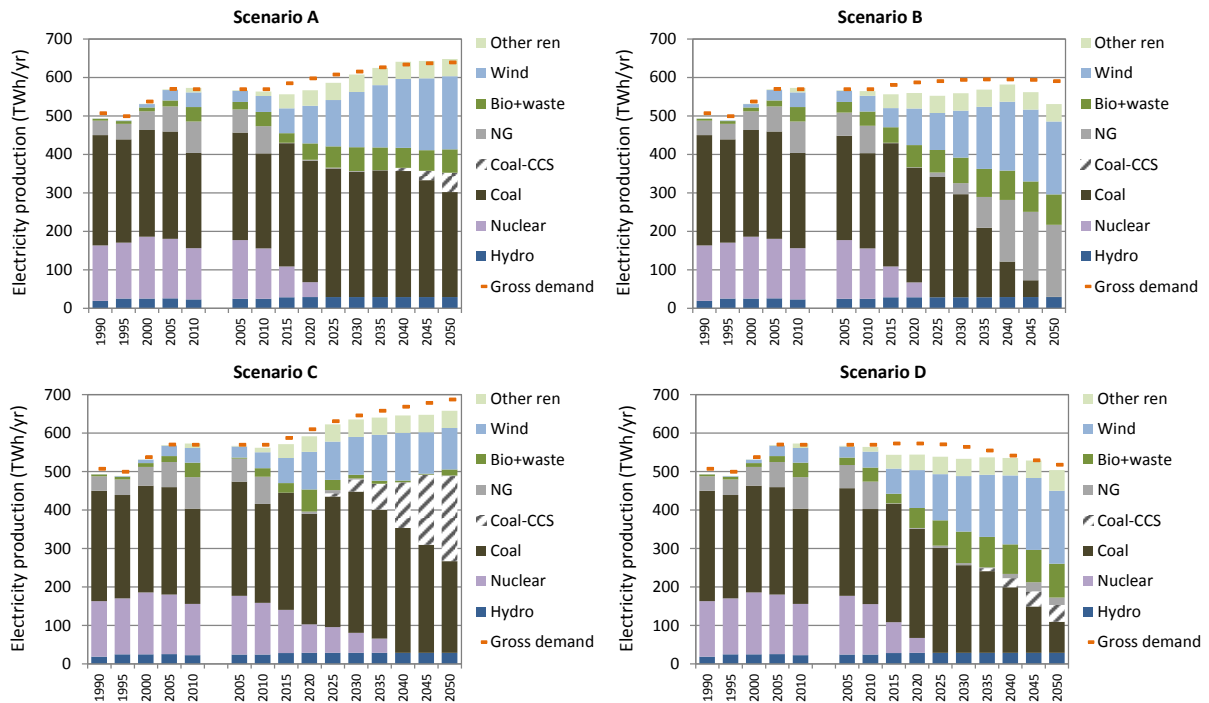


Figur: Import och export till och från Norden (mellan Norden och Tyskland/Polen)

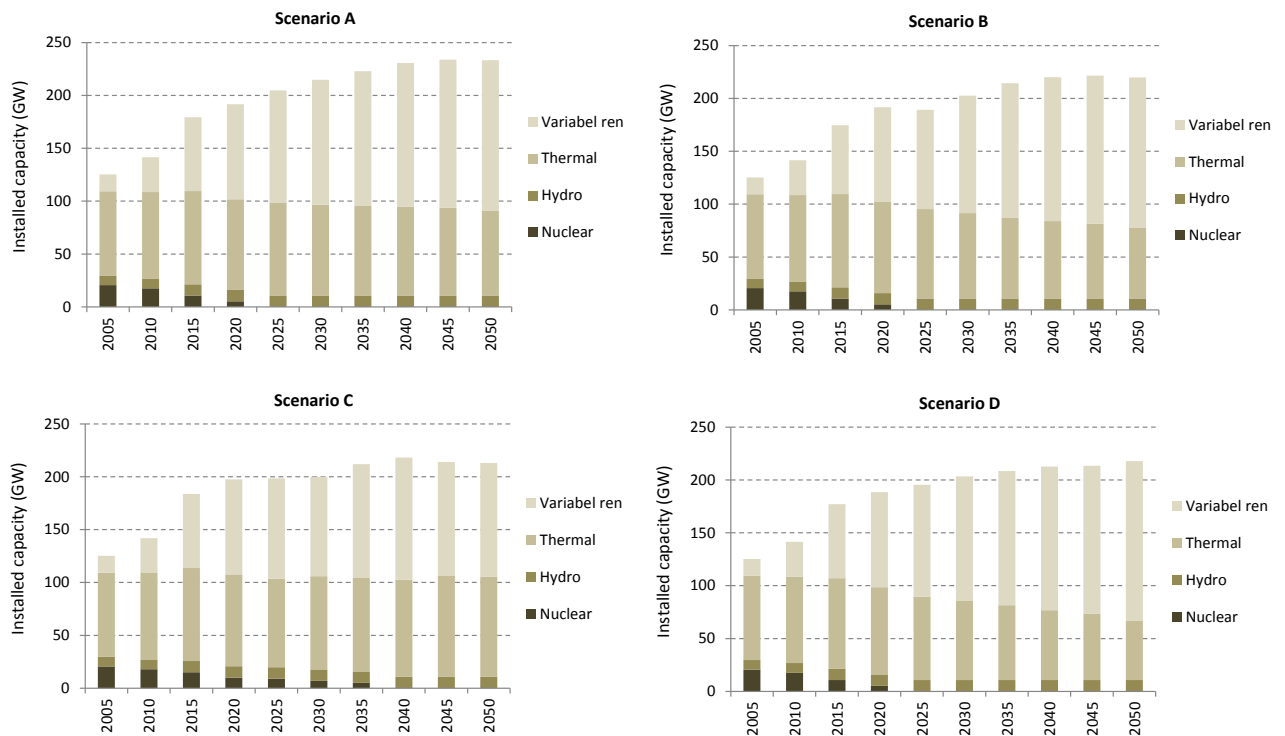
Elproduktionen i Tyskland

Utvecklingen av elsystemet i Tyskland visar likheter med utvecklingen av det nordiska, i alla scenarier, men det finns också tydliga skillnader. Samtidigt präglas utvecklingen i Tyskland av den kraftfulla nationella energipolitik ("Energiewende") som tog form efter kärnkraftsolyckan i Fukushima 2011. Den innebär bl.a. att den tyska kärnkraften avvecklas i alla scenarier och att det blir en fortsatt satsning på ny variabel kraftproduktion. Samtidigt bibehålls kolkraften i samma omfattning som idag, åtminstone till 2030. I scenario B och D minskar den efter 2030, men i scenario C sker istället en ökning genom att nya kolkraftverk med CCS byggs. Den sker också samtidigt delvis på bekostnad av vindkraftsexpansionen, som avstannar. I de övriga scenarierna, och särskilt i scenario B och D, ökar den förnybara andelen av den tyska elproduktionen under hela perioden. Det resulterar i mycket stora

andelar variabel kraft i det tyska kraftsystemet, vilket figuren på nästa sida illustrerar väl. I scenario B och D utgörs två tredjedelar av den installerade effekten av variabel kraft mot slutet av den studerade perioden, och i scenario C, där stora nyinvesteringar sker i termisk kraft, utgör den variabla kapaciteten omkring hälften av all installerad kraftkapacitet.



Figur: Elproduktion i Tyskland (staplarna) samt den tyska elanvändningen (streckad linje).

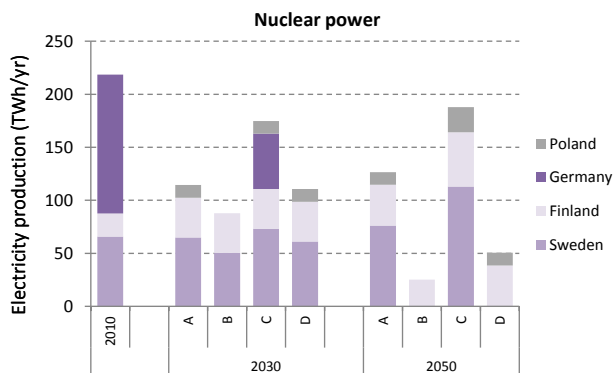


Figur: Elproduktionskapacitet i Tyskland

Kärnkraften

Utvecklingen av kärnkraften är scenarioskiljande i rådets scenariobeskrivningar, liksom i våra resultat. Det framgår tydligt av resultatredovisningen ovan. I nedanstående figur har vi lyft ut kärnkraftsproduktionen i de fyra scenarierna, och anger den för de fyra länder som har, eller kan få, kärnkraft.

Scenario A, och särskilt scenario C, är de scenarier där kärnkraften utnyttjas mest. För den svenska och finska kärnkraften innebär scenario C en rejäl ökning jämfört med idag. I Sverige ersätts alla tio verken med större verk. I Finland byggs flera nya verk. I Tyskland har vi antagit att man, just i scenario C, fördröjer kärnkraftsutvecklingen ett antal år, så att den till viss del är kvar år 2030. I Polen byggs mer kärnkraft till 2050 i scenario C än i övriga scenarier. I scenario B och D däremot, avvecklas kärnkraften så gott som helt till 2050. Endast de nyaste verken finns kvar, i Finland och Polen.

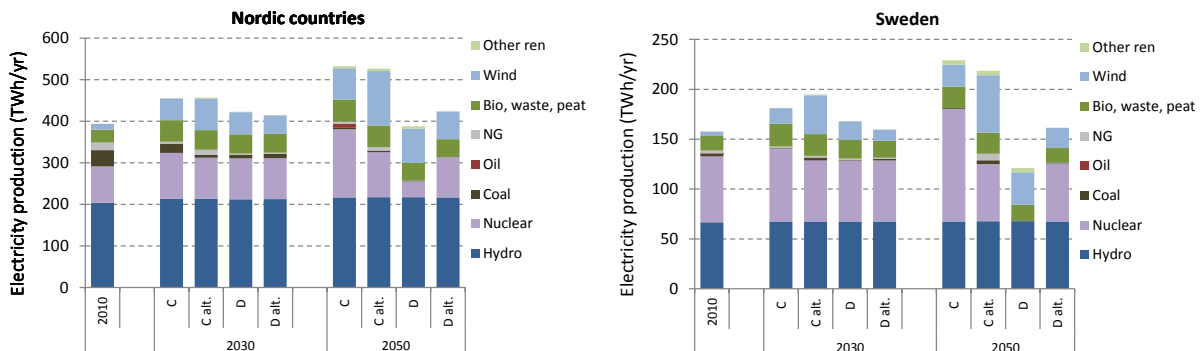


Figur: Kärnkraftsproduktionens storlek i de fyra scenarierna.

Vi har gjort två alternativa beräkningar för den svenska kärnkraften för scenarierna C och D, för att illustrera den roll som kärnkraften spelar i dessa scenarier. I scenario C har vi i alternativberäkningen ("C alt.") begränsat reinvesteringsmöjligheten till att inte överskrida dagens kapacitet. I scenario "D alt." har vi istället underlättat reinvesteringen i kärnkraft, så att den blir konkurrenskraftig.

Resultaten framgår av figurerna nedan. Av dem kan man dra ett par tydliga slutsatser:

- I såväl Sverige som Norden är vindkraften alternativet till kärnkraft. Reducerar vi kärnkraften så byggs mer vindkraft och vice versa.
- Med kärnkraft blir den svenska och nordiska produktionen större. Såväl den svenska som den nordiska produktionen överstiger också det egna elbehovet med mer kärnkraft, vilket resulterar i ökad export från Sverige och Norden i dessa fall.



Figur: Två alternativa scenarier med avseende på kärnkraftens utveckling.

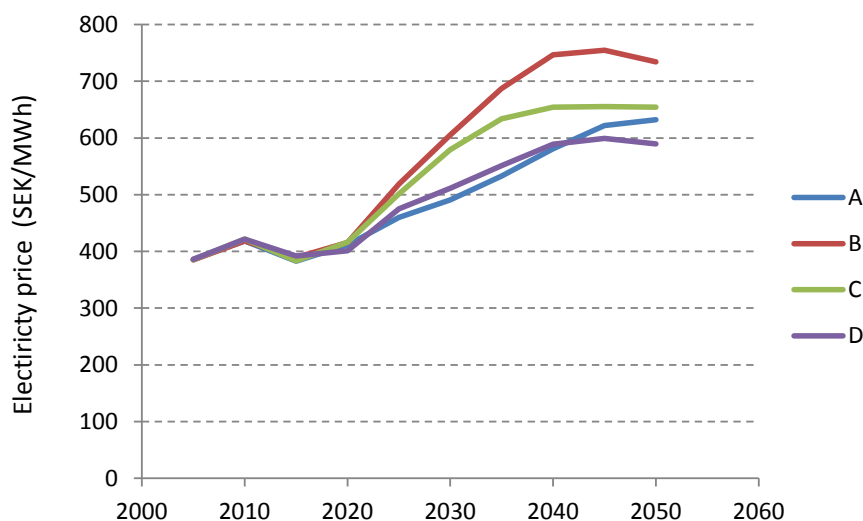
Elprisutvecklingen

Konsumentpriset på el ökar i samtliga scenarier, vilket illustreras i figuren nedan. Ökningen är störst i scenario B (priset når drygt 750 kr/MWh år 2040), och det är också högt i scenario C (drygt 650 kr/MWh). Även i scenario A och D nås prisnivåer över 600 kr/MWh, men först efter år 2040.

I scenario B är det den mycket stora satsningen på förnybara elproduktionen som är orsaken till prisökningen. För att nå de stora volymerna ny förnybar el i scenariot, antas ett gemensamt europeiskt stödsystem (i Times/Markal-modellen simulerat som ett gemensamt europeiskt certifikatsystem, som belastar alla elkunder lika). År 2030 utgör elcertifikatkostnaden 10-15% av konsumentpriset, medan certifikatkostnaden utgör 40-50% av konsumentpriset år 2050.

Vi har, enligt rådets önskemål, också analyserat ett alternativt stödsystem i scenario B med elskattebefrielse för småskalig egenproducerad el för egen konsumtion. År 2030 kan det vara rimligt att anta att ett sådant system är tillräckligt för att nå de volymer ny förnybar el som krävs. Efter år 2030, och sett i ett all-europeiskt perspektiv, är dock inte detta stödsystem tillräckligt utan då krävs också ett annat och mer omfattande stödsystem (ett gemensamt europeiskt stödsystem). Detta stödsystem blir då också marginalprissättande, vilket innebär att priskurvan för scenario B i figuren nedan – efter år 2030 – är rimlig även i detta scenarioalternativ.

I scenario C drivs elpriset upp av ett allt högre CO₂-pris, som påverkar marginalkostnaden för elproduktion i Norden och Europa genom hela den studerade perioden. Efter 2035 stabiliseras dock priset i scenariot, eftersom elsystemet kan kompensera det allt högre CO₂-priset med en allt större andel "CO₂-mager/fri" produktion på marginalen.

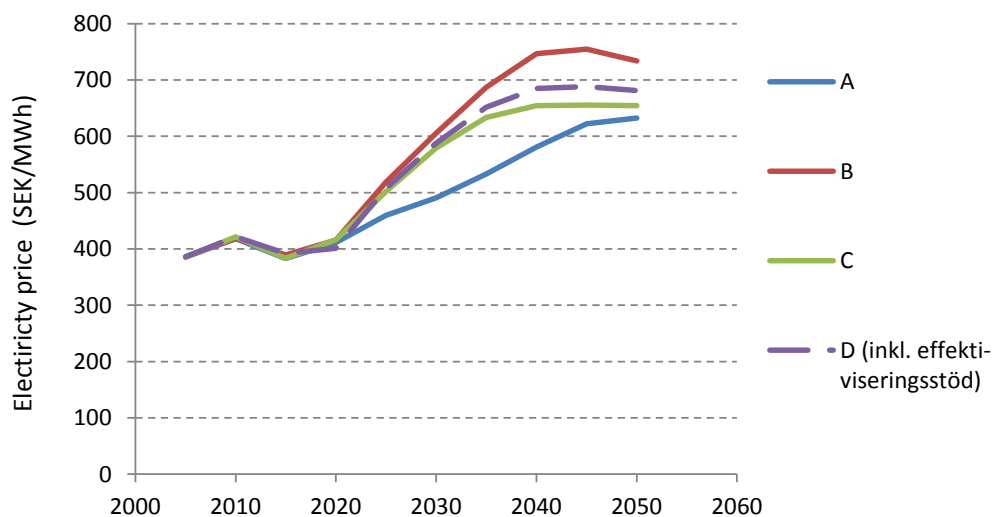


Figur: Slutkundspriset (exkl. elskatt och moms) för en svensk elanvändare som är certifikatpliktig.

I scenario D är konsumentpriset alltså 100-150 kr/MWh lägre än i scenario B och C, trots att bl.a. klimatambitionerna är snarlika med dessa scenarier. Skälet är satsningen på energieffektivisering, med en lägre elförbrukning som följd. Det är dock rimligt att anta att det krävs ett omfattande stödsystem för att nå denna stora energieffektivisering. Litteraturen ger dock ringa vägledning om hur stort effektiviseringsstöd som krävs. I tidigare analyser i NEPP³ har vi dock räknat med att det krävs

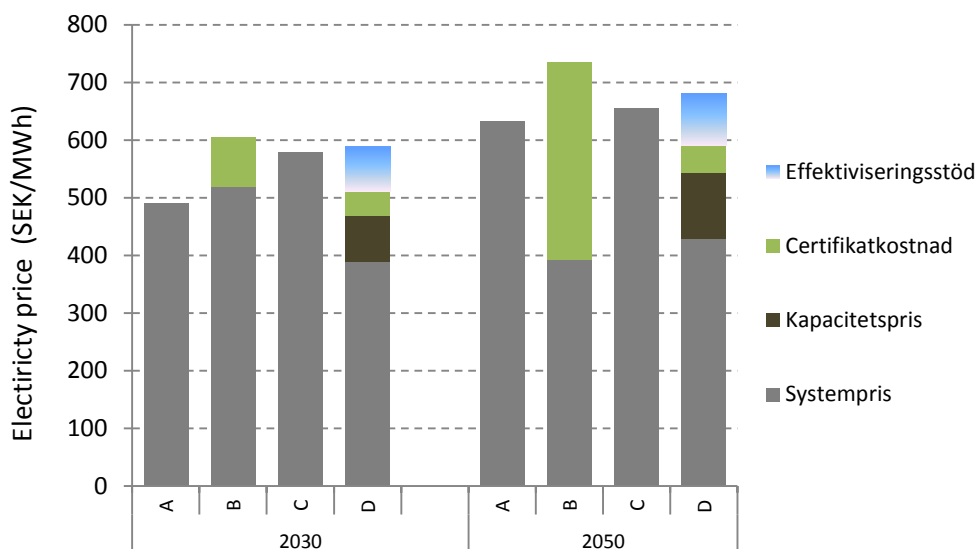
³ "Towards a Sustainable Nordic Energy System", Final Report, Nordic Energy Systems, April 2010

åtmintstone 1000 kr i investeringsstöd för en genomsnittlig åtgärd som sparar 1 MWh årligen, för att nå en omfattande effektivisering (med stigande stöd i takt med att effektiviseringsambitionen ökas). Omsätter vi detta investeringsstöd till ett årligt värde (med en rak annuitet), och antar att det finansieras av alla elkonsumenter, "fördyrar" det konsumentpriset på el med drygt 50 kr/MWh år 2030 och runt 100 kr/MWh år 2050. Adderar vi detta effektiviseringsstöd till konsumentpriset i scenario D, får vi en elprisbana enligt figuren nedan. Vi ser då att konsumentens kostnad blir av samma storleksordning i scenario D som i scenario B och C. (Vanligtvis belastar stödsystem för effektivisering skattekollektivet, och inte elpriset, varför denna kalkyl mest skall ses som ett räkneexempel.)



Figur: Slutkundspriset (exkl. elskatt och moms) för en svensk elanvändare som är certifikatpliktig, där också ett schablonmässigt stöd till eleffektivisering inkluderats i elpriset.

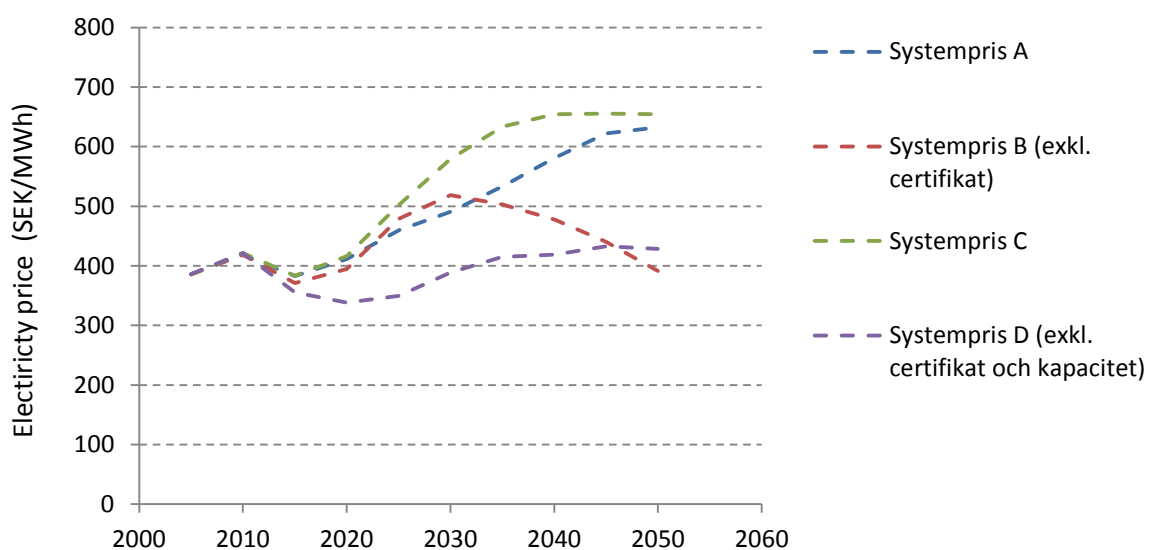
För att tydliggöra de olika priskomponenterna i konsumentpriset, redovisar vi - i figuren nedan - en mer detaljerad bild för år 2030 och 2050, för alla fyra scenarierna. Systempriset (dvs. priset på Nord



Figur: Slutkundspriset (exkl. elskatt och moms) för en svensk elanvändare som är certifikatpliktig, där också ett schablonmässigt stöd till eleffektivisering inkluderats i elpriset.

Pool), som också inkluderar CO2-prisets påverkan, är den enda priskomponent som påverkar konsumentpriset i scenario A och C. I scenario D däremot, redovisar vi fyra priskomponenter, och den vi ännu inte nämnt är kapacitetsmarknadspriset. Scenariot innehåller en europeisk kapacitetsmarknad och, med referens till analyser i inom NEPP-klustret⁴, kan ett europeiskt kapacitetspris hamna i nivån 100-150 kr/MWh. Vi har räknat med cirka 80 kr/MWh år 2030 och 120 kr/MWh år 2050. (I figuren har vi också inkluderat det effektiviseringsstöd som beskrivits ovan.)

Avslutningsvis redovisar vi det nordiska systempriset (priset på NordPool) i en separat figur. Det ökar i tre av fyra scenarier till 2030; det är endast i scenario D som systempriset minskar (åtminstone t.o.m. år 2025). I figuren nedan har vi också tydliggjort att detta systempris inte inkluderar priset för kapacitet (och heller inte elcertifikatpriset), vilket ger de låga prisnivåerna för scenario B och D.



Figur: Systempriset på NordPool. (Vi har i figuren angivet att detta systempris inte inkluderar kapacitetsmarknadspriset, och inte heller certifikatpriset, för att undvika eventuella missförstånd).

⁴ "Capacity Markets in Europe: Impacts on Trade and Investments", A Sweco Multiclient Study, February, 2014

Skillnader mellan våra beräkningsresultat och rådets beskrivningar

Som vi ovan konstaterat utgör rådets beskrivning av de fyra scenarierna (A-D) både en beskrivning av hur omvärlden och hur det tekniska systemet utvecklas. I vår metod är omvärldsbeskrivningen utgångspunkten (indata) för modellberäkningarna, och utvecklingen av det tekniska energisystemet vårt modellresultat. Ovan har vi redovisat hur vi "synkroniserat" rådets omvärldsbeskrivningar med våra scenarioindata, för att få bästa möjliga överensstämmelse. Nedan jämför vi våra modellresultat med rådets beskrivningar av utvecklingen av det tekniska el- och energisystemet.

Vi kan generellt konstatera att överensstämmelsen är god (se jämförelseavsnittet nedan), och att skillnaderna är få. Dessa skillnader har vi dock lyft fram för att få diskutera dem och avgöra om de skall åtgärdas, eller om det är acceptabelt att de är kvar.

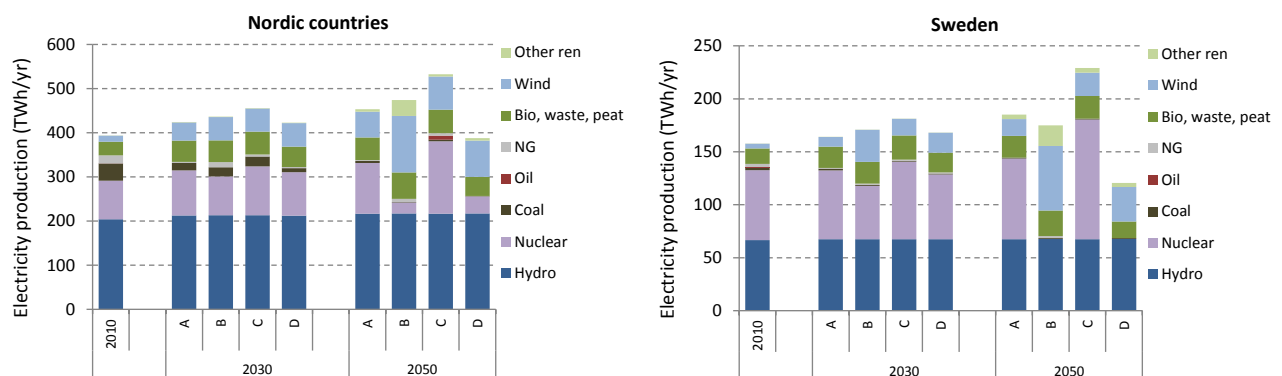
Skillnaderna

Vi har identifierat tre principiella skillnader, som vi vill lyfta fram här.

Elsystemet förändras långsamt - till 2030 händer bara lite, till 2050 händer mycket mer

Det tekniska el- och energisystemet är ett trögrikligt system. Den existerande energiinfrastrukturen, i form av produktions-, distributions- och användartekniker, ersätts långsamt. De flesta tekniker i det svenska, nordiska och europeiska elsystemet har tekniska livslängder på 30-50 år, eller mer. På 15 år, alltså tiden fram till 2030, kan man inte förvänta sig en särskilt stor förändring av det tekniska systemet, även om incitamenten för förändring stärks. På 35-40 år däremot, tiden fram till 2050, kan förändringen bli mycket större. (Kortsiktiga stora förändringar förutsätter t.ex. förbud eller starkare styrmedel än vad vi antagit – och rådets scenariobeskrivningar ger inte heller stöd för dessa.)

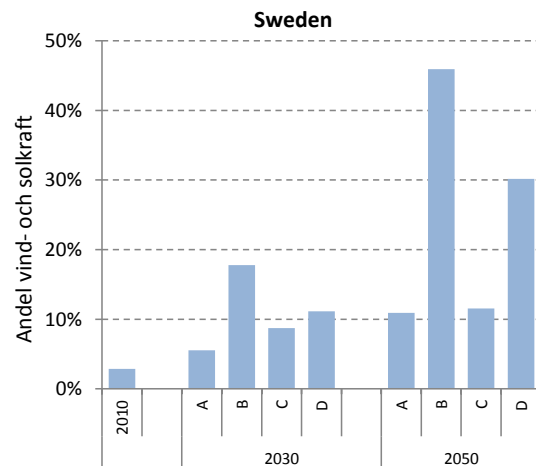
I våra modellresultat för de fyra scenarierna kan vi också mycket tydligt se detta. I figurerna nedan har vi lyft ut resultaten för den nordiska och den svenska elproduktionen för åren 2030 och 2050. Vi kan konstatera att de stora skillnaderna mellan scenarierna inte får särskilt stort genomslag i elproduktionens sammansättning till 2030, men däremot stort genomslag till 2050, när det tekniska energisystemet kunnat svara upp emot omvärldsförändringarna fullt ut, och där "målnivåerna" också är mer långtgående.



I rådets scenariobeskrivningar av hur det tekniska el- och energisystemet utvecklas, är det lätt att få uppfattningen att förändringen av systemet kan ske snabbt (till 2030). Våra modellberäkningar ger alltså ingen grund för det.

En alltför liten ökning av den förnybara elproduktionen i scenario D i våra beräkningar?

I rådets beskrivning av scenario D, anges att den förnybara elproduktionen ökar i Sverige, som en följd av att elcertifikatsystemet utvidgas. I våra beräkningsförutsättningar (indata) för scenario D har vi också, i enlighet med rådets beskrivning, utökat det svensk/norska elcertifikatsystemet. Det leder till en stor ökning av den förnybara andelen av elproduktionen i Sverige, särskilt efter 2030 (se figuren till höger). Ökningen av den absoluta mängden el från vind- och solkraft är dock måttlig i scenario D, jämfört med scenario D (20 TWh år 2030 i B och 30 TWh i D, samt 35 TWh år 2050 i B och 80 TWh i D). Den kraftiga energieffektiviseringen i scenario D, som leder till minskande elkonsumtion, gör dock alltså att andelen vind- och solkraft ändå blir stor.



Elprisutvecklingen i de olika scenarierna

Rådet anger elprisutvecklingen för två scenarier, A och D. För scenario A anger rådet en (svag) ökning, vilket väl överensstämmer med våra resultat. För scenario D anger man en elprissänkning (vi uppfattar det som att man menar "systempriset"), bl.a. som en följd av ett utökat elcertifikatsystem och ett införande av en kapacitetsmarknad. Det är en rimlig beskrivning, att ett ökat och starkt certifikatsystem tillsammans med en kapacitetsmarknad skulle kunna ha den effekten på systempriset. Det stämmer också med våra resultat för perioden före 2030, men mellan 2030 och 2050 stiger systempriset igen enligt våra beräkningar och når en nivå strax över dagens nivå när vi närmar oss 2050.

Konsumentpriset på el ökar dock under hela den studerade perioden i scenario D, liksom i de övriga tre scenarierna.

Energilagring

Markal/Times-modellen har inte den tidsuppläsningen att man kan beskriva korttidslager (för eleffekt på timbasis). Våra resultat omfattar därför inte denna typ av lager. Säsongslager av olika typer (för elenergilagring), alltifrån pumpkraftverk till ökad användning av el i fjärrvärmesystemens värmepumpar och elpannor omfattas i modellen, men utnyttjas i ringa omfattning i beräkningarna för scenarierna A-D.

Jämförelsen

Nedan redovisas kort - i punktform - de beskrivningar som rådet gjort av hur det tekniska el- och energisystemet utvecklas i de olika scenarierna. I de allra flesta fall stämmer dessa överens med våra modellresultat för respektive scenario, och då har vi givit punkten en svart och fet text. I de få fall där vi identifierat skillnader, och/eller kommenterat dem i avsnittet om "skillnader" ovan, har vi färgat dem blå.

Scenario A

Rådet beskriver dessa delar av det tekniska systemet och hur de utvecklas i scenariot:

- **Användningen av fossila bränslen minskar**
- **Utbyggd fjärrvärme**
- **Ökad elproduktion, men samtidig satsning på effektivisering som påverkat elanvändningen**
- **Mer intermittent elproduktion, men i avstannande takt**
- **Ingen stor ökad mikroproduktion och egenproducerad el (solceller ej konkurrenskraftiga)**
- **Måttlig elektrifiering av transportsektorn (<50% eldriven)**
- **Reinvesteringar i kärnkraften**
- **Något högre elpriser**

Scenario B

Rådet beskriver dessa delar av det tekniska systemet och hur de utvecklas i scenariot:

- **Användningen av fossila bränslen minskar**
- **Mycket mer förnybar och intermittent elproduktion**
- **Ökad mikroproduktion och egenproducerad el**
- **Effektiv styrning av elförbrukningen**
- **Elektrifiering av transportsektorn (<50% eldriven vid 2030, men den ökar kraftigt därefter)**
- **Ingen reinvestering i kärnkraften**
- **Energilagring får genombrott**

Scenario C

Rådet beskriver dessa delar av det tekniska systemet och hur de utvecklas i scenariot:

- **Användningen av fossila bränslen minskar**
- **Ökad elproduktion och elkonsumtion (och den fortsätter att växa efter 2030)**
- **Måttligt/litet engagemang kring energieffektivisering**
- **Mer förnybar och intermittent elproduktion**
- **Elektrifiering av transportsektorn ("stor andel" eldriven vid 2030)**
- **Ökad integrering med Europa**
- **Reinvesteringar i kärnkraften**
- **CCS**

Scenario D

Rådet beskriver dessa delar av det tekniska systemet och hur de utvecklas i scenariot:

- **Användningen av fossila bränslen minskar**
- **Elkonsumtionen minskar**
- **Mer förnybar och intermittent elproduktion (i Sverige, Norden och EU)**
- **Elektrifiering av transportsektorn (XX% eldriven vid 2030)**
- **Ingen reinvestering i kärnkraften**
- **Energilagring får genombrott**
- **Lågt elpris (bl.a. som en följd av utökad elcertifikatsystem)**