

Avveckling av två kärnkraftverk – kostnader och miljökonsekvenser

Tiden närmar sig det datum då det är tänkt att två kärnkraftverk skall avvecklas. Anders Carlsson analyserar i denna artikel de samhälls-ekonomiska kostnaderna för en avveckling. Vidare beräknar han effekten på utsläppen av svavel, kväveoxider samt koldioxid.

Kärnkraftens vara eller icke vara har under lång tid diskuterats i Sverige. Användningen av kärnkraft för att producera elektricitet har kommit att starkt ifrågasättas av vissa grupper i samhället. Kärnkraftsolyckan i Tjernobyl våren 1986 gjorde att debatten åter flammande upp.

Anledningen till diskussionen om kärnkraftens lamplighet som elgenereringsteknik är naturligtvis de olika risker som befolkningen utsätts för vid drift av anläggningarna och vid avfallshanteringen. Tjernobyl visade de katastrofala följder som ett kärnkraftshaveri kan få. Om man utifrån riskbedömningar vill göra en samhällsekonomisk utvärdering huruvida en avveckling bör ske, och i så fall i vilken omfattning, måste såväl kostnaderna som intäkterna beaktas. En avveckling av kärnkraften kommer att leda till samhällsekonomiska intäkter i form av minskade risker för strålning vid ett eventuellt kärnkraftshaveri samt minskade avfalls-lagringskostnader. Mot dessa intäkter måste de samhällsekonomiska kostnaderna för att reducera riskerna ställas. Om vi antar att vi hade fullständig kun-

skap om dessa intäkter och kostnader borde avvecklingen av kärnkraften drivas så långt att kostnaden för att reducera risken med ytterligare en "enhet" är lika stor som samhällets marginella betalningsvilja för den sist reducerade "riskenheten".

I dagsläget saknar vi fullständig information. Det är framför allt intäktssidan som vållar problem. Det är svårt att kvantifiera samhällets värdering av att reducera risken för en olycka. Detta är naturligtvis olyckligt men det är något som vi får acceptera. Kostnaderna är däremot enklare att bestämma. I denna artikel kommer intresset att fokuseras till kostnaderna för en avveckling. Vidare studeras hur utsläppen av svavel, kväveoxider och koldioxid förändras vid en avveckling.

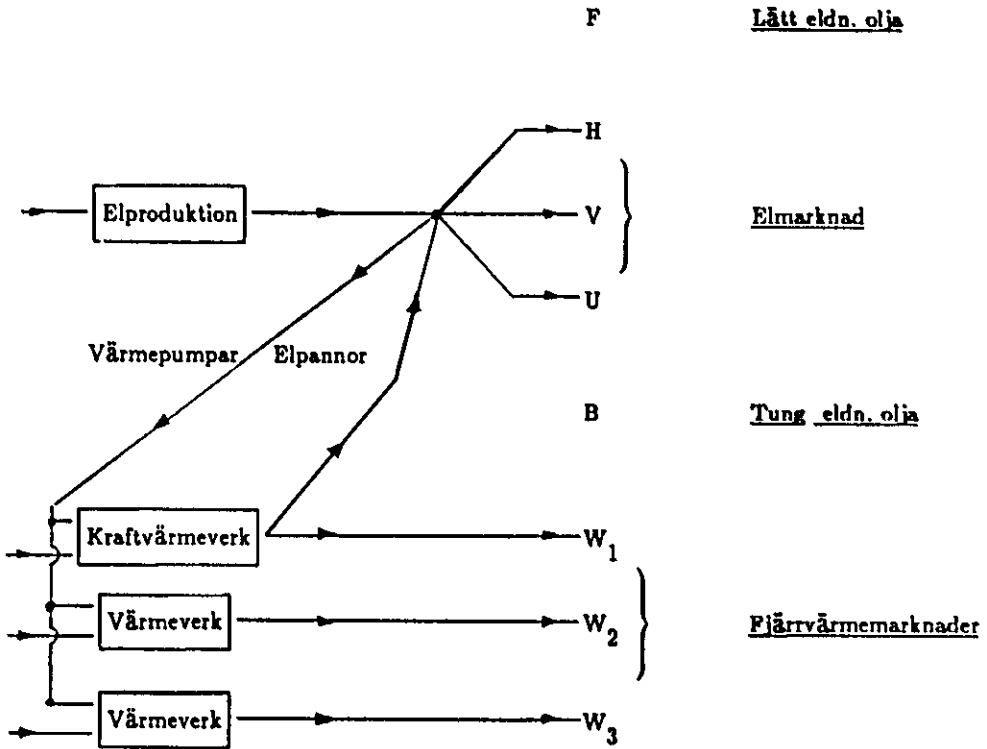
ENMARK-modellen

Till min hjälp i analysen har jag ENMARK – modellen, en partiell jämviktsmodell över den svenska energimarknaden.¹ I Figur 1 finns ett schema över modellen.

*Ekon lic ANDERS CARLSSON
är verksam vid Nationalekonomiska
institutionen, Handelshögskolan i
Stockholm*

¹ Modellen har använts för att generera kostnadsfunktioner för svavelreduktion i Sverige, se Carlsson [1988]

Figur 1 Den svenska energimarknaden (ENMARK-modellen).



Följande sex marknader är explicit representerade:

- (i) Marknaden för lätt eldningsolja, F, vilken används för uppvärmning i hushållssektorn.
- (ii) En nationell elmarknad, där H står för vattenburen elvärme, V står för direktverkande el och U står för all annan elanvändning.
- (iii) En marknad för tung eldningsolja, B, vilken används inom industrin.
- (iv) Tre fjärrvärmemarknader, W₁-W₃.

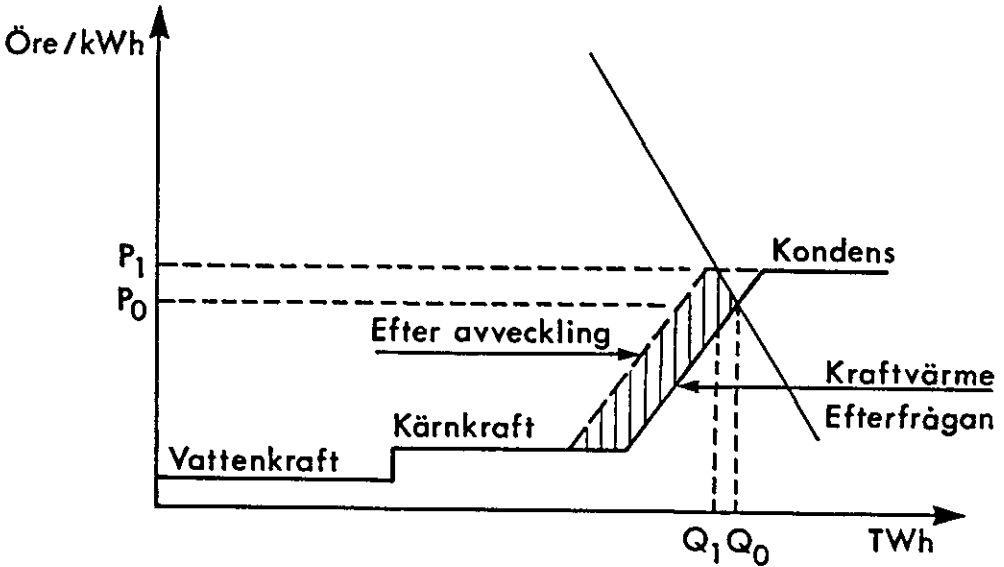
Modellen täcker in elmarknaden och fjärrvärmeanvändningen samt oljeanvändningen inom hushållssektorn och inom industrin. Den el som går till slutlig användning har delats upp på el för uppvärmning (= H och V) samt övrig elanvändning (= U). Utöver detta används elektricitet som intermediär vara i elpan-

nor och värmepumpar i fjärrvärmenäten.

Fjärrvärmen har delats upp på tre marknader. Denna uppdelning har sin grund i de produktions- och avsättningsförutsättningar som existerar. Den första fjärrvärmemarknaden (W₁) inkluderar de orter där värmeunderlaget per kvadratmeter är stort. Det finns då möjlighet att investera i kraftvärmeverk som producerar både värme och elektricitet. Den andra fjärrvärmemarknaden (W₂) inkluderar de orter där tillgången på inhemska bränslen kan anses vara god. Slutligen finns de återstående fjärrvärmeorterna samlade på den tredje fjärrvärmemarknaden (W₃).

I produktionsdelen av modellen finns två slag av interdependenser mellan elmarknaden och fjärrvärmemarknaderna. För det första existerar möjligheten att producera både el och värme i kraftvär-

Figur 2 Den svenska elmarknaden vid en avveckling av en del av kärnkraftproduktionen.



meverk på den första fjärrvärmemarknaden (W_1). Vidare finns det på alla tre värmemarknaderna avkopplingsbara elpannor och värmepumpar som används för att producera värme.

Oljemarknaderna finns med eftersom det är önskvärt att modellera substitutionsmöjligheter mellan el och olja för vissa användargrupper samt för att någorlunda väl täcka in utsläppen av svavel, kväveoxider och koldioxid. Basåret är 1985. Elanvändningen detta år uppgick till 120 TWh medan fjärrvärmeanvändningen motsvarade 36,8 TWh, i båda fall räknat i slutlig användning.² Som ett resultat av modellformuleringen täcks ca 60 procent av svavelutsläppen, ca 25 procent av kväveoxidutsläppen samt ca 60 procent av koldioxidutsläppen under basåret.

De samhällsekonomiska kostnaderna för en avveckling av två reaktorer

Innan jag redovisar resultaten från de olika modellsimuleringarna skall jag beskriva hur de samhällsekonomiska kost-

naderna vid en avveckling av två reaktorer bör beräknas. *Figur 2* illustrerar detta.

Med tolv reaktorer, vilket är antalet reaktorer som är i drift idag, kommer jämviktspriset på elmarknaden att bli P_0 och jämviktskvantiteten Q_0 . Vattenkraft och kärnkraft används som baskraft. Så som figuren är ritad är det kraftvärmes som utnyttjas på marginalen medan kondens ej drivs under perioden. Om två reaktorer stängs av kommer utbudskurvan att skifta till vänster. För att uppnå det nya jämviktsläget måste det dyrare kraftslaget kondens användas. Det nya jämviktspriset blir P_1 och den nya jämviktskvantiteten Q_1 . De samhällsekonomiska kostnaderna för avvecklingen motsvaras av de samlade förlusterna i konsument- och producentöverskotten. I figuren representeras de av den skuggade rutan.³

²Siffrorna är hämtade från Statens energiverk [1988].

³Modellens målfunktion maximerar summan av producent- och konsumentöverskotten över marknaderna.

Tabell 1 Fall A. Nyinvesteringar i kolkondens och kolkraftvärmeverk med avancerad rening. Ingen produktion i oljekondenskraftverk.

	1985	1995		
		Tolv reaktorer	Tio reaktorer	Tio reaktorer med utsläppsrestriktion
Elpris * (öre/kWh)	18,0	32,9	32,9	36,0
Elanvändning (TWh)	117,9	131,1	131,1	127,4
Svavelutsläpp (ton)	28 300	25 400	28 400	25 700
Kväveoxidutsläpp (ton)	30 400	36 800	39 800	36 900
Koldioxidutsläpp (milj ton)	9,4	19,4	25,0	19,7
Kostnad (milj kr)		0	1 560	2 100

* Elpriset är råkraftpriset mätt vid användaren

Simuleringar för 1995

I inledningen av artikeln nämnde jag något om svårigheterna med att kvantifiera intäkterna av en avveckling av två reaktorer. I detta avsnitt fokuseras därför intresset till kostnaderna.

Året som beskrivs är 1995. Detta år ligger inom den tidsperiod då två reaktorer planeras att avvecklas. De simuleringar som presenteras nedan skall på ett eller annat sätt beskriva olika fall som kan återfinnas i debatten kring kärnkraftavvecklingen. De förutsättningar som gäller för samtliga korningar är en årlig BNP-tillväxt på 2 procent fram till 1995 samt de bränsleprisantaganden i 1988 års priser som ges i fotnot.⁴

Fall A. Den första simuleringen skall beskriva en situation där man har möjlighet att investera i kolkondens- och kolkraftvärmeanläggningar för att ersätta kärnkraften men dessa anläggningar måste vara försedda med avancerad svavel- och kväveoxidrening enligt de reningskrav som kommer att gälla kring 1995.⁵ Vidare tillåts ingen produktion i de existerande oljekondenskraftverken. Vi kan se dessa anläggningar som reservkapacitet i kraftproduktionssystemet. Resultaten redovisas i *Tabell 1*.

Jag väljer att i presentationen beskriva situationen på elmarknaden. I tabellen finns uppgifter om elpris, elanvändning, svavel-, kväveoxid- samt koldioxidutsläppen från el- och värmeproduktion samt de samhälleliga kostnaderna för avvecklingen. I tabellen anges även uppgifter om hur modellen redovisar situationen för basåret 1985.⁶

Vi ser att med tolv kärnkraftreaktorer kommer elpriset att höjas till nära 33 öre/kWh. Detta är den långsiktiga marginalkostnaden för kolkondens med avancerad reningsteknik. Investeringar görs således i denna teknik men utöver dessa görs även investeringar i kolkraftvärmeverk. Elanvändningen ökar till drygt 130 TWh i slutlig användning.⁷ De totala utsläppen av svavel från el- och värmeproduktion uppgår till 25 400 ton och kväveoxidutsläppen till 36 800 ton. Vidare ökar koldioxidutsläppen till nära 20 mil-

⁴ Kol, 0,8% S 364 kr/ton
Tung olja, 0,4% S 780 kr/m³
Lätt olja, 0,2% S 874 kr/m³

⁵ 50 mg/MJ för svavel och 50 mg/MJ för kväveoxider.

⁶ En normalårskorrigerad för elanvändning har gjorts.

⁷ För att få information om hur mycket som produceras i anläggningarna skall förlusterna på 10 procent adderas till den slutliga användningen.

joner ton. I förhållande till år 1985 minskar svavelutsläppen något medan kväveoxid- och koldioxidutsläppen ökar.

I det fall då två reaktorer stängs framkommer resultaten i den andra kolumnen.⁸ Elpriset och då också elanvändningen kommer att vara densamma som i fallet med tolv reaktorer. Svavel- och kväveoxidutsläppen har emellertid ökat med 3 000 ton vardera medan koldioxidutsläppen har ökat med 5,6 miljoner ton. Investeringar görs i kolkondens och kolkraftvärmeverk med avancerad rening även i detta fall. Kolkondensinvesteringarna är dock större då produktionen av elektricitet i två kärnkraftsreaktorer helt ersätts med produktion i kolkondensanläggningar. De samhällsekonomiska kostnaderna för dessa investeringar blir 1 560 miljoner kronor årligen.⁹ I och med att elpriset är detsamma med en avveckling blir det i detta fall inga konsumentöverskotts förluster och förlusten på 1 560 miljoner kronor hänförs till minskningar av producentöverskotten.

Svavel-, kväveoxid- och koldioxidutsläppen ökar således vid en avveckling. Detta kan emellertid motverkas genom att en övre gräns på utsläppen av de tre ämnena sätts till nivåer som motsvarar de totala utsläppen då tolv reaktorer är i drift.¹⁰ Resultatet av detta finns redovisat i den tredje kolumnen.¹¹ Elpriset höjs till 36 öre/kWh och elanvändningen går ner till knappt 128 TWh. Det är fortfarande kolkondens och kolkraftvärmeverk med avancerad rening som det investeras i på elmarknaden. Eftersom åtminstone någon av utsläppsrestriktionerna kommer att vara bindande, blir elproduktionen i dessa anläggningar (och produktionen i alla anläggningar som förorenar) dyrare. I detta fall kommer svavel- och koldioxidrestriktionerna att vara bindande med skuggpriser på 29 kr/kg respektive 1,8 öre/kg. Reduktionen av utsläppen till den nivå som gäller vid tolv reaktorer sker dock inte kostnadsfritt. När elpriset ökar uppstår även konsumentöverskotts förlus-

ter. De samlade förlusterna i konsument- och producentöverskotten blir 2 100 miljoner kronor.

Vi konstaterar att kostnaderna för en avveckling av två kärnkraftreaktorer i detta scenario ligger kring 2 miljarder kronor per år. Detta om vi samtidigt lägger oss vinn om att eliminera emissionsökningen. Nu kan alternativa scenarier genereras för att studera hur avvecklingskostnaderna påverkas. Naturgasen kan då vara ett alternativ till att ersätta kärnkraften och detta tas upp som nästa punkt.

Fall B. I simulering B antar jag att man, utöver de investeringar som tillåtes i Fall A, även tillåter investeringar i naturgaseldade kraftvärmeverk och kombikraftverk.¹² Fortfarande förbjuder vi elproduktion i de existerande oljekondensanläggningarna.

Det visar sig att inga större skillnader erhålls. I fallet med tolv reaktorer kommer elpriset att vara knappt 32 öre/kWh, vilket är den långsiktiga marginalkostnaden för naturgaseldade kombikraftverk. Investeringar görs i denna teknik, men också i naturgaseldade kraftvärmeverk. Dessa investeringar ersätter helt de inve-

⁸ Båda reaktorerna antas ha en effekt på 500 MW var.

⁹ De samhällsekonomiska kostnaderna beraknas som skillnaden i målfunktionens värde mellan fallet med tolv reaktorer och fallet med tio reaktorer

¹⁰ Detta sätt att hantera utsläppen kan tolkas som att marknaden för utsläppsrätter skapas där producenter får kopa utsläpp till ett fastställt pris. Detta pris är skuggpriset på utsläppsrestriktionen. Ett alternativt sätt att reducera utsläppen vore att införa miljöavgifter i modellen. Denna ansats används inte i denna artikel.

¹¹ Observera att jag sätter en restriktion på de totala nivåerna, dvs på alla i modellen inkluderade utsläppskällor. Därför kommer de resulterande utsläppen från el och fjärrvärmeproduktionen som redovisas i kolumnen med tio reaktorer och utsläppsrestriktioner att skilja sig något från kolumnen med tolv reaktorer.

¹² Priset på naturgas sätts till 873 kr/1000m³, vilket innebär 9,2 öre/kWh.

steringar i koltekniker som gjordes i Fall A. Investeringarna i naturgasanläggningarna avspeglas i utsläppsnivåerna som nu är lägre. Svavelutsläppen blir 16 400 ton, kväveoxidutsläppen blir 35 300 ton samt koldioxidutsläppen blir ca 14 miljoner ton. Med naturgasanläggningar kommer de totala utsläppsnivåerna att redan från början vara på en lägre nivå i förhållande till Fall A.

När vi stänger av två reaktorer förändras inte jämviktspriset på el. Elanvändningen är densamma, drygt 132 TWh. De två kärnkraftverken ersätts helt av naturgaseldade kombikraftverk. Utsläppen av svavel ökar med 40 ton, av kväveoxider med 5 100 ton och av koldioxider med 2,8 miljoner ton. De samhällsekonomiska kostnaderna för avvecklingen blir 1 450 miljoner kronor och återigen hänför sig detta till minskningar av producentöverskotten.

Begränsar vi utsläppen vid en avveckling till de nivåer då tolv reaktorer är i drift ökar jämviktspriset till knappt 34 öre/kWh och elanvändningen minskar till ca 130 TWh. Nu binder endast koldioxidrestriktionen och ger ett skuggpris på 5,2 öre/kg. De årliga samhällsekonomiska kostnaderna för avvecklingen uppgår nu till 2 030 miljoner kronor.

Modellens priskänslighet

Det kan vara på sin plats att diskutera modellresultaten. Som alla modeller av detta slag är den här utnyttjade modellen känslig för de prisantaganden som görs. Den långsiktiga marginalkostnaden för kol-kondens med avancerad rening är 32,9 öre/kWh medan den långsiktiga marginalkostnaden för naturgaseldade kombikraftverk är 31,7 öre/kWh. Skillnaden är 1,2 öre/kWh. Skulle vi ha antagit ett något högre naturgaspris eller alternativt ett något lägre bränslepris på kol så skulle modellen ha genererat en lösning innebärande att kol skulle ha ersatt kärnkraften även i det andra scenariet.

En faktor som talar mot naturgasen är att vi har exkluderat investeringskostnaderna för distributionsnäten av naturgas i modellen. Dessa nät är idag långt ifrån fullt utbyggda och i en mer omfattande samhällsekonomisk analys skall investeringskostnaderna för näten vara inkluderade.¹³ Men om det primära målet är att reducera utsläppen så kommer naturgasen att vara ett bra alternativ, även då kostnaderna för distributionen beaktas.

Oberoende av om det är naturgasteknik eller kolteknik som ersätter kärnkraften kan vi dock konstatera att kostnaden för en avveckling av två reaktorer ligger kring 2 miljarder kronor årligen. Detta om vi samtidigt eliminerar emissionsökningen.

Fall C. I Fall A och Fall B har vi antagit att det är möjligt att investera i olika anläggningar samt att dessa investeringar hinner bli klara i tid. Detta förutsätter dock att man tämligen omgående börjar att projektera anläggningarna. För att belysa en något annorlunda situation görs ytterligare en simulering, Fall C. I denna simulering tillåter vi inga investeringar. Vi kan tolka investeringsförbudet som att tidshorisonten fram till 1995 är alltför kort för att man skall hinna bygga nya anläggningar. Alternativt kan man tolka det som att myndigheterna inte ger tillstånd till nyinvesteringar. Vidare släpper vi förbudet om elproduktion i de existerande oljekondensanläggningarna.

Med tolv reaktorer blir elpriset drygt 22 öre/kWh och det är oljekondens eldat med olja innehållande 0,4 procent svavel som används på marginalen.¹⁴ Nivån på

¹³ I Statens energiverk [1987] anges kostnaderna för distributionsutbyggnaden till 3-6 öre/kWh.

¹⁴ Observera att den tunga eldningsoljan i modellen innehåller endast 0,4 procent. Dagens krav ligger på 0,8 procent. Jag antar att priset för den renare oljan är 200 kr högre än för den 0,8 procentiga oljan. Den senare antas betinga ett pris på 580 kr per kubikmeter.

elanvändningen blir knappt 144 TWh och utsläppen av svavel ökar till 42 900 ton, utsläppen av kväveoxider ökar till 69 900 ton medan koldioxidutsläppen ökar till ca 28 miljoner ton.

Med tio reaktorer kommer kapacitetstaket att nås och en knapphetsränta uppkommer. Elpriset blir 26 öre/kWh och elanvändningen sjunker till ca 139 TWh. De två reaktorerna ersätts till viss del med utökad produktion i oljekondensanläggningarna. Svavelutsläppen ökar med 1 500 ton, kväveoxidutsläppen ökar med 2 600 ton och koldioxidutsläppen ökar med 1,1 miljoner ton. De årliga samhälls-ekonomiska kostnaderna för avvecklingen blir 1 300 miljoner kronor. De är alltså lägre än i tidigare simuleringar, men samtidigt ligger de totala utsläppen på en mycket högre nivå.

Eliminerar vi emissionsökningen i Fall C kommer elpriset att höjas till drygt 27 öre/kWh och elanvändningen minskar till ca 138 TWh. Svavelrestriktionen binder och ger ett skuggpris på 49 kr/kg. De samhälls-ekonomiska kostnaderna för avvecklingen blir 1 500 miljoner kronor.

Här kan man peka på en intressant aspekt. Om myndigheterna inte ger några tillstånd för nyinvesteringar med motivationen att dessa tekniker inte är tillräckligt miljövänliga pekar modellresultaten i Fall C på att denna politik, åtminstone på kort sikt, kan leda till att de totala utsläppen faktiskt ökar, något som väl inte var tänkt från början.

Slutsatser

Syftet med denna artikel har varit att visa hur en avveckling av två kärnkraftsreaktorer kan tänkas påverka den svenska ekonomin. I de tre olika scenarierna som presenterats visar det sig att de årliga samhälls-ekonomiska kostnaderna vid en avveckling ligger mellan 1,5 och 2 miljarder kronor om ökningen i utsläppen av svavel, kväveoxider och koldioxid samtidigt

elimineras. Frågan om hur många år som bör räknas beror på under hur lång tid de reaktorer som man planerar att avveckla skulle kunna ha varit i drift. Det kan vara några år, men det kan också röra sig om 10-15 år.

I detta sammanhang skall jag referera till Statens energiverks utredning *Avveckling av två reaktorer*. Frågeställningen i denna utredning var exakt densamma som i denna artikel men det resultat som de kom fram till i referensalternativet var 500 miljoner kronor per år. Detta är betydligt lägre än de här presenterade kostnaderna. Anledningen till detta är att Statens energiverk har använt ett felaktigt mått på de samhälls-ekonomiska kostnaderna. De använder en ansats där produktionskostnaderna minimeras och detta leder till felaktiga resultat. Man missar förlusterna i konsumentöverskotten. Dessa förluster är betydande.

Biobränslen och dess potential har hittills inte diskuterats. I de simuleringar som jag gjort har vissa investeringar gjorts i anläggningar som använder biobränsle på fjärrvärmemarknaderna men de har samtidigt varit marginella. Att använda biobränslen för att ersätta kärnkraften torde inte inom överskådlig framtid vara något alternativ.

Det vore intressant att utvidga den samhälls-ekonomiska analysen till att även inkludera intäkterna av en avveckling. I inledningen berördes svårigheterna med en sådan analys. Den problemställning som kommer upp är hur man skall mäta individers värdering av att reducera risken för en kärnkraftsolycka. Den faktiska drifttiden för kärnkraftverken minskar med ca 8 procent vid en avveckling, räknat på en livslängd av 40 år. Vidare minskar avfallshanteringskostnaderna, men bara marginellt. Dessa kostnaderna kan därför sägas vara volymoberoende vid en avveckling av två reaktorer.

Inom nationalekonomin används direkta och indirekta mätmeter för att skatta individers betalningsvilja. Båda ty-

perna av metoder har tidigare använts i Sverige (se tex Bojö [1985], Drake [1988], Åkerman [1989]). En studie baserad på någon av mätmetoderna borde kunna ge politiker och andra intresserade åtminstone en viss vägledning om storleken på individers betalningsvilja för att reducera risken för en kärnkraftsolycka.

En folkomröstning genomfördes visserligen år 1980, där folket fick ta ställning till olika alternativ att hantera kärnkraften på. Sedan dess har dock förutsättningarna markant förändrats. Man kan peka på två saker. Den första är att vår kunskap om verkningarna på miljön av olika utsläpp har ökat och därmed också oron för vad som kommer att hända i framtiden. Detta faktum pekar på en fortsatt drift av samtliga kärnkraftverk. Det andra är Tjernobykatakstrofen, som pekar i motsatt riktning.

Helt säkert kan vi i framtiden förvänta oss en fortsatt debatt kring frågan om kärnkraftens lämplighet som elgenereringsteknik.

Referenser

- Bojö, J, [1985], *Kostnadsnyttoanalys av fjällnära skogar - Fallet Vålådalen*. EFI, Handelshögskolan i Stockholm.
- Carlsson, A, [1988], *Estimates of the Costs of Emission Control in the Swedish Energy Sector*. EFI, Handelshögskolan i Stockholm.
- Drake, L, [1988], "Sätt pris på miljon - jordbrukslandskapet varderat", *Ekonomisk Debatt*, Årg 16, Nr 5.
- Statens energiverk, [1987], *El- och varmeproduktion med naturgas*. Allmänna Förlaget, Stockholm.
- Statens energiverk, [1988], *Avveckling av två reaktorer*. Allmänna Förlaget, Stockholm.
- Åkerman, J, [1989], "Hushållens vardering av halorisker från radon i bostäder". *Ekonomisk Debatt*, Årg 17, Nr 3.