

## Hälsorisker vid elproduktion

*Med utgångspunkt från data i EUs ExternE-projekt redovisas i denna rapport risker för hälsoskador uttryckta i måttet dödsfall/TWh. Resultaten presenteras dels i form av ett sammanfattande diagram, som visar hälsoskador från användning av olika kraftslag i olika EU-länder, dels i några exempel med anknytning till Sverige och den svenska energidebatten.*

*Några intressanta slutsatser:*

- *Kol, brunkol och olja ger mycket mer omfattande hälsoskador än andra energislag*
- *Vattenkraft och kärnkraft ger två storleksordningar mindre hälsoskador än kol och olja*
- *Energibesparingar genom tätning av svenska hus ger ett ökat antal dödsfall*
- *Barsebäcksstängningen leder till ett ökat antal dödsfall, de flesta i Danmark.*

Huvudmålsättningen med denna rapport är att systematiskt och tydligt redovisa skillnader i hälso- och miljöeffekter för olika metoder att producera elektricitet (och i några fall värme).

Riskjämförelserna grundas på ExternE-projektet (ref.1), som finansierats av EU-kommissionen och utförts av forskningsorganisationer inom de flesta EU-länderna och i Norge. ExternE är en av de mest omfattande och vetenskapligt bäst underbyggda studierna inom området.

Slutresultatet i ExternE uttrycks med hjälp av den externa kostnaden, d.v.s.

kostnaden för skador på hälsa och miljö, beräknad som öre/kWh. En viktig fördel med detta uttryckssätt är att hälso- och miljökonsekvenserna uttrycks i samma enhet som de interna synliga energikostnaderna.

Vi har valt att i stället för externkostnaden använda måttet dödsfall/TWh. Därmed undviker vi det kontroversiella i att sätta ett penningvärde på mänskligt liv men bibehåller möjligheten att jämföra med andra aktiviteter i samhället, t.ex. biltrafiken.

Resultaten i ExternE, uttryckta som externa kostnader, eller som här i dödsfall/TWh, är med dagens kunskapsnivå det bästa instrumentet för att göra översiktliga riskjämförelser mellan olika energislag.

Detalj-kunskaperna om hur luftföroreningar sprids och deras hälso- och miljökonsekvenser är dock ännu inte helt tillfredsställande.

Förhoppningsvis kommer fortsatt forskning att leda till resultat med större noggrannhet.

## ExterneE

Samtliga energislag av betydelse har analyserats i ExternE. De nationella och internationella forskningsorganisationer som deltagit i projektet har gjort beräkningar för ett betydande antal kraft- och värmeverk inom EU.

Inte enbart kraftverkens uppbyggnad (inklusive material- och komponenttillverkning) och drift utan hela bränslecykeln, från gruvan till avfalls slagret, har studerats. Dessutom inkluderas hälsorisker vid driftolyckor (även katastrofer).

I de beräknade externa kostnaderna dominerar hälsoskador, huvudsakligen dödsfall.

### Dödsfall/TWh

Vi har i denna rapport valt att presentera skadeeffekterna som dödsfall/TWh eftersom detta begrepp är konkret och mer

lättnbegripligt än den mera teoretiska termen "externa kostnader".

Det ger trots en del ofullkomligheter en bra grund för jämförelsen mellan de olika energislagen.

Skadeeffekterna uttryckta som dödsfall/TWh framkommer som ett steg i beräkningen av externa kostnader och finns redovisade i ExternE.

Dödsfall/TWh är ett grovt mått. Dödsfall på grund av luftföroreningar drabbar oftast gamla och svaga människor medan dödsfall i cancer på grund av strålning snarast drabbar oberoende av ålder.

Det har därför argumenterats för att ett bättre mått skulle vara "förlorade möjliga levnadsår". Samma resonemang skulle kunna gälla för t.ex. trafikskador.

Ett litet barn som dödas i trafiken förlorar fler möjliga återstående år än en

åldring som drabbas av samma olycka. Trots detta talar man oftast endast om antalet döda.

Användning av "förlorade möjliga levnadsår" istället för dödsfall/TWh skulle göra fossila bränslen något mindre ofördelaktiga i jämförelse med vattenkraft och kärnkraft men inte så mycket att det på något sätt skulle kunna påverka slutsatserna i rapporten.

### Beräkningsmetoder

ExternE har använt den s.k. impact pathway metoden för beräkningarna. Detta innebär att man beräknar eller mäter utsläppen av föroreningar från ett energisystem (partiklar, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> och radioaktiva ämnen).

Dessa data används i en beräkningsmodell som tar hänsyn till förorening-

arnas spridning i luften och befolkningsfördelning.

En komplikation är att de utsläppta luftföroeningarna vanligen omvandlas kemiskt vid passagen genom atmosfären. Detta tar spridningsmodellens datorprogram hänsyn till.

Ett annat komplicerat, och för vissa tillämpningar osäkert, steg är beräkningen av hur inandade luftföroeningar påverkar människors hälsa.

Detta gör man med hjälp av skadeeffektsamband (Exempel: en stråldos eller en dos av ett kemiskt gift erhållen av en person leder till en effekt i form av en ökad risk för cancer) som har uppskattats genom mätningar och teoretiska studier.

Eftersom de skadliga föroeningarna sprids över stora avstånd och påverkar människor också i andra länder är det av vikt att bestämma hur mycket de utspädda föroeningarna kan påverka en stor befolkning.

### Tröskelvärde - kollektivrisk?

En viktig fråga är om det finns ett tröskelvärde under vilket föroeningen är ofarlig. Denna fråga har studerats mest ingående för radioaktivitet och i brist på säkra experimentella data har man valt att utgå ifrån att det inte finns något tröskelvärde.

Systematiska statistiska studier indikerar också att inte heller de vanliga luftföroeningarna från eldning av fossila bränslen och biobränslen har någon tröskel-effekt.

När det gäller skador från joniserande strålning pågår för närvarande en livlig expertdiskussion om det rimliga i att summera risker även från de allra minsta doserna nära noll till en s.k. kollektivrisk.

---

*ExternE använder sådana kollektivrisker både för radioaktiva ämnen och kemiska gifter. Därmed ges för första gången en möjlighet att jämföra de olika energislagens hälso-risker på ungefär samma villkor.*

---

Kvar finns den generella kritiken mot att använda kollektivrisker vid små utspädda doser eftersom sådana risker inte kan verifieras i epidemiologiska studier.

ExternE tar delvis hänsyn till denna kritik genom att ange stor osäkerhet i riskuppskattningen.

Vår uppfattning är att kollektivriskbegreppet trots kritiken kan användas vid jämförelser mellan olika kraftslag.

### Felkällor och osäkerheter

Det är uppenbart att det finns stora osäkerheter i ExternE-beräkningarna av skadeeffekter. Så har man t.ex. ansett att det inte är möjligt att bestämma effekterna av cancerogena ämnen i utsläpp till luft från fossila bränslen och biobränslen.

Sådana effekter har inkluderats endast för radioaktivitet vilket gör att jämförelser mellan energislagen leder till nackdel för kärnkraften där cancer är den viktigaste skadeeffekten.

ExternE redovisar kvantitativa uppskattningar av osäkerheten i resultaten.

Statistiska metoder är endast delvis tillämpbara eftersom en del av osäkerheterna är av systematisk natur. Exempel på detta är osäkerheten om dos-effektsambandet för strålskador.

För spridningen av stoftpartiklar från eldning av fossila bränslen använder man storleken på den geometriska standardavvikelsen i de beräknade värdena som mått på osäkerheten.

Man bedömer att standardavvikelsen två till tre är en rimlig nivå på osäkerheterna. Standardavvikelsen två innebär att om det nominella värdet är A så ligger det verkliga värdet högst sannolikt mellan A/2 och 2 A.

Det kan nämnas att SMHI har beräknat nedfall av sulfat och nitrat över Sverige (ref. 2). SMHI:s resultat indikerar att man kan uppnå betydligt bättre noggrannhet i beräkning av spridning av luftföroeningar än vad ExternE:s osäkerhetsuppskattningar anger.

Inom ExternE har relationen mellan absoluta och relativa osäkerheter inte diskuterats.

Felkällorna är för de energislag där luftburna föroeningar dominerar av samma natur oberoende av om det gäller fossila bränslen eller kärnkraft. Det är därför rimligt att anta att jämförelsen av hälsoeffekterna mellan de olika energislagen är behäftade med betydligt mindre osäkerhet än de absoluta värdena.

Därför blir den typ av jämförelser som görs i denna rapport meningsfulla trots osäkerheterna i grunddata.

### Framtida skador

En del skadeeffekter uppkommer långt in i framtiden. Ett exempel är cancer

orsakad av strålning vid mycket låga dosnivåer från långlivade radioaktiva isotoper, t ex kol-14 från kärnkraftverk och upparbetningsanläggningar. Ett annat är tungmetaller, t ex kadmium i askan från eldning av kol eller ved.

Inom ExternE har tungmetaller inte medtagits medan effekterna av långlivade isotoper uppskattats genom diskontering, dvs beräkning av den framtida skadans nuvärde. Eftersom delar av skadan sker i en avlägsen framtid leder diskontering till att skadan uppskattas som mycket liten.

Då skador från långlivade isotoper är den dominerande effekten för kärnkraft leder diskontering till att kärnkraftens skadeeffekter blir försumbara. I denna rapport har diskontering inte tillämpats utan skadorna har beräknats till sina maximala värden.

### Urangruvor

Ett speciellt problem beträffande strålning har varit avfallsupplag vid urangruvor. Avfallet innehåller uran som inte kunnat utvinnas ur malmen. Uran emitterar med lång halveringstid den radioaktiva gasen radon.

Om avfallet är väl övertäckt med grus och jord hinner radonet sönderfalla innan det kommer ut i omgivningen och blir därför harmlöst.

Inom ExternE har man använt en modell för radonspridningen som togs fram på ett tidigt stadium av UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on Effects of Atomic Radiation).

---

*I UNSCEAR:s senaste rapport (ref. 3) konstateras att den tidigare modellen givit felaktiga resultat och att den lett till beräknade skador som var mer än 20 gånger för stora.*

*UNSCEAR:s reviderade skadevärden används genomgående i denna rapport.*

---

Den i Sverige mycket debatterade frågan om slutförvar av utbränt kärnbränsle har också inkluderats i ExternE beräkningarna.

På grund av den lilla volymen avfall och deponeringen långt under jord blir dock den motsvarande externa kostnaden mycket liten.

## Några resultat av beräkningar baserade på ExternE

Data hämtade direkt från ExternE visas i Diagram 1 (från ref. 4). Diagrammet visar de externa kostnaderna i öre/kWh för några i den svenska debatten aktuella energislag.

För denna rapport redovisar vi de ur ExternE beräknade hälsoriskerna för olika energisystem i olika EU-länder som dödsfall/TWh.

Denna omfattande detaljredovisning återfinns i Diagram 2.

Skador orsakade av växthuseffekten har inte medtagits i diagrammet. På grund av dessa skadors speciella natur behandlas denna fråga separat längre fram i denna rapport.

ExternE redovisar i en del fall resultat för existerande anläggningar men huvuddelen av data gäller hypotetiska kraftverk lokaliserade till platser där det idag finns kraftverk.

För de fossila energislagen och för vattenkraft och kärnkraft är de flesta anläggningarna större än 500 MW el. Ett undantag är det danska naturgaskraftverket som är på endast 77 MW.

För bioenergi och vind har man tvingats begränsa sig till små anläggningar, 1 – 40 MW. Det enda undantaget är bioenergi i Sverige med 100 MW.

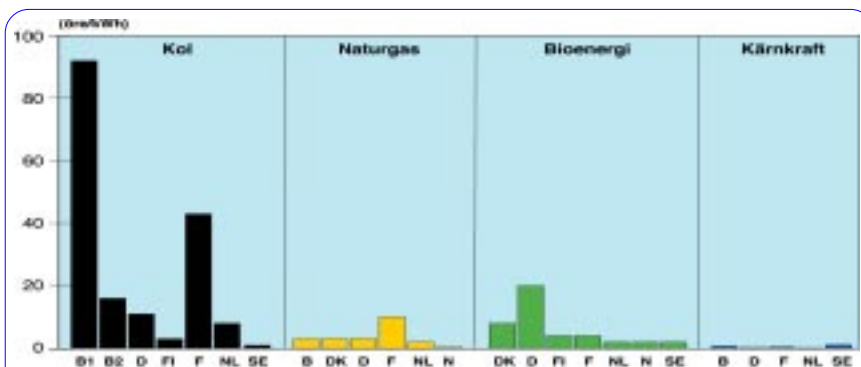


Diagram 1. Externa kostnader i öre/kWh för några viktiga energislag i ett urval europeiska länder. Växthuseffekten är inte inkluderad. Underlaget är hämtat ur ExternE-rapporten.

### Olikheter

De stora variationerna i hälsokonsekvenserna mellan anläggningar som använder samma fossilbränsle beror mest på befolkningsfördelningen inom de drabbade områdena.

Den svenska anläggningen för kol visar vad man kan åstadkomma med bästa möjliga teknik i ett område med låg folktäthet.

Miljövänligheten har ytterligare förbättrats genom att man har studerat ett kraftvärmeverk och därigenom erhållit högre verkningsgrad för elproduktionen än för de stora kondensanläggningarna.

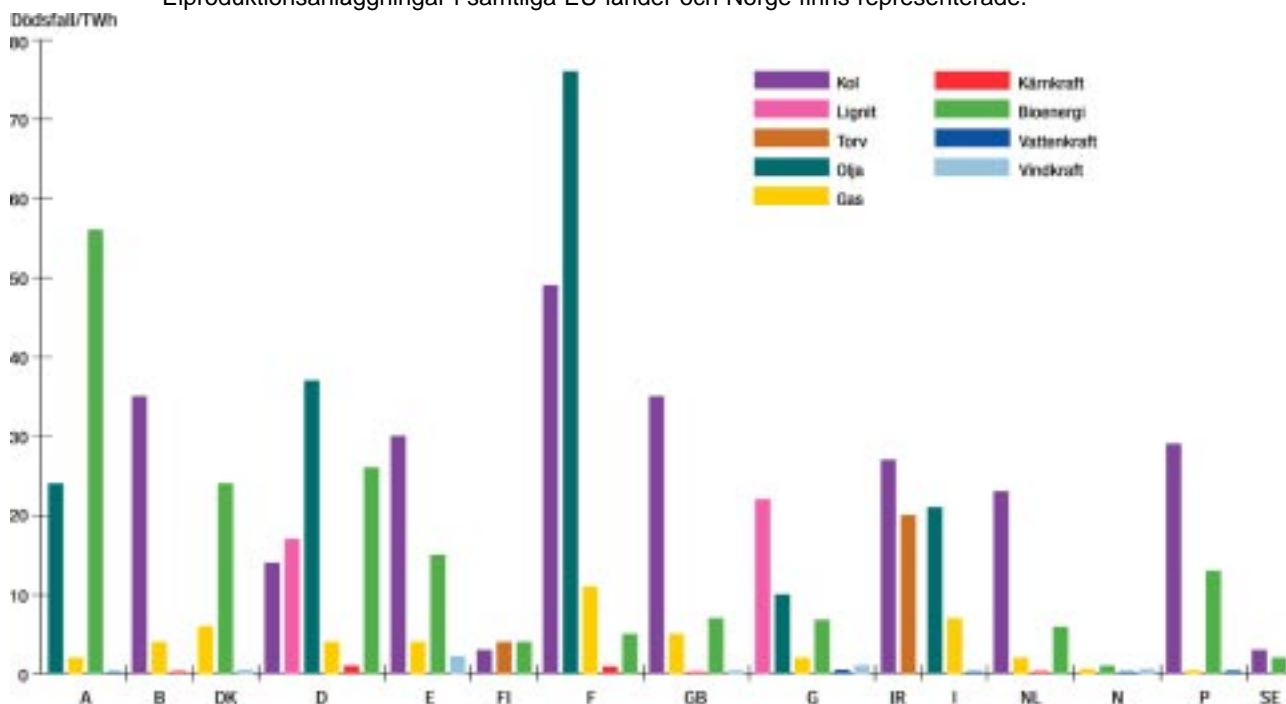
En speciell effekt för t ex Finland, Norge och Grekland är att man får relativt låga hälsoeffekter genom att ExternE bara inkluderar effekter inom EU.

Luftföroeningar som drabbar t. ex. ryska Karelen ger därigenom inget bidrag till de beräknade skadeeffekterna.

Betydelsen av använd reningsteknik illustreras i Diagram 1 för ett belgiskt kolkraftverk.

Beräkningar har gjorts både för verket i dess nuvarande skick med begränsad reningsutrustning (B1) och för ett verk som tillämpar modern reningsteknik lokaliserat till samma plats (B2).

Diagram 2. Huvuddelen av hälsoskadeberäkningarna i ExternE presenterade som dödsfall per TWh(el). Elproduktionsanläggningar i samtliga EU-länder och Norge finns representerade.



Det senare exemplet ger resultatet 18 dödsfall/TWh mot 92 för det i verkligheten existerande verket (om ej skadeeffekten av CO<sub>2</sub>-utsläppen inkluderas).

Skadeeffekterna för kärnkraft domineras av globalt spritt Kol-14. Det största bidraget kommer från upparbetning av använt bränsle i den franska upparbetningsanläggningen.

Detta förklarar varför hälsoeffekterna för kärnkraft är större för Frankrike och Tyskland, som använder denna anläggning, jämfört med Sverige som skall direktdeponera använt kärnbränsle utan föregående upparbetning.

Fallet med kärnkraft i just Sverige behandlas dock inte i ExternE.

### Bioenergi

Resultaten för bioenergi visar stora variationer mest därför att man har studerat anläggningar som använder helt olika teknik, t.ex. ett modernt kraftvärmeverk i Sverige på 100 MW el och en förgasningsanläggning för kreatursgödsel om 1 MW el i Danmark.

I Sverige finns mycket effektiv rening i större bioenergianläggningar.

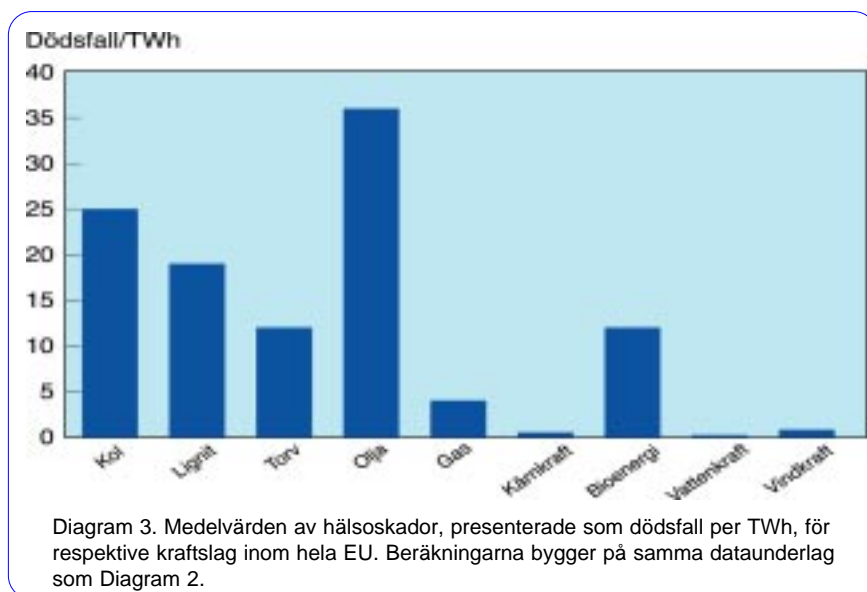
Med nuvarande tillgänglig reningsteknik torde det emellertid bli alltför dyrbart att införa rening med hög effektivitet i mindre anläggningar (mindre än 5–10 MW), t.ex. värmeverk för mindre stadsdelar.

*Sådana anläggningar kommer därför även i Sverige att medföra hälsorisker som är lika stora som de som ExternE visar för andra länder. Dessa mindre värmeverk i Sverige är inte avsedda för elproduktion men väl för att ersätta elektriciteten i hittills elvärmda bostäder.*

Jämförelse av EU-medelvärden för de olika energislagen är givetvis en metod som bör användas med försiktighet, eftersom stora och små anläggningar och platser med varierande befolknings-täthet klumpas ihop.

Som illustration av skillnaderna mellan de olika energislagen kan dock sådana medelvärden vara av intresse.

Medelvärden för respektive energislag av hälsorisker angivna som dödsfall/TWh för de inom EU studerade anläggningarna har beräknats ur ExternE och visas i Diagram 3



### Slutsatser

En del enkla slutsatser av resultaten i Diagram 2 och 3 är:

*1. Kol, lignit (brunkol) och olja ger väsentligt större hälsoeffekter än de andra energislagen. Detta förhållande förstärkes ytterligare om växthuseffekten också inkluderas i resultaten, se diagram 7.*

*2. Hälsoskadorna från vattenkraft och kärnkraft är cirka två storleksordningar mindre än för de ovan nämnda fossila bränslena.*

*3. Bland de fossila bränslena är naturgas betydligt miljövänligare än de andra energislagen*

*4. I ExternE-studien ligger hälsoeffekterna för bioenergi nära de fossila bränslena men det är att observera att resultaten i de flesta fallen gäller för teknik med potential för förbättringar.*

Det svenska exemplet för bioenergi visar vad man kan åstadkomma i ett glesbefolkat område i en stor anläggning med tillämpning av bästa möjliga teknik.

Hälsoeffekterna från vatten-, vind- och kärnkraft är så små att de inom beräkningsnoggrannheten mycket väl skulle kunna ges värdet "0" men vi har valt att använda de framräknade från "0" skilda värdena i diskussionen.

Vidstående slutsatser är giltiga också om man räknar med "förlorade möjliga levnadsår" i stället för dödsfall/TWh.

ExternE gäller i huvudsak för den teknik som användes i mitten av 1990-talet. Utveckling av ny teknik kommer att göra det möjligt att minska hälsoriskerna för samtliga energislag.

Detta gäller speciellt för bioenergi som kan betecknas som omogen teknik men också de fossila bränslena och kärnkraft. Många anläggningar hade byggts innan miljöproblemen började uppmärksammas på allvar.

Nästa generation anläggningar har därför en betydande potential för förbättringar genom användning av ny teknik.

Även om man tar hänsyn till den framtida teknikutvecklingen och osäkerheten i beräkningarna kommer rangordningen mellan de olika energislagens hälsoeffekter att bestå:

- De lägsta hälsoskadorna ger vatten-, kärn- och vindkraft.
- De största hälsoskadorna orsakas av olja, kol, lignit och torv.
- I en mellanklass återfinnes naturgas och bioenergi.

Om växthuseffekten inkluderas i diskussionen kommer skillnaderna mellan de tre grupperna att accentueras.

## Tillämpningsexempel

### Exempel 1: Hälsoeffekten av elproduktion i några länder

Med användning av data presenterade i Diagram 2 och 3 är det möjligt att beräkna de totala hälsoeffekterna av elanvändningen i ett land och uttrycka detta som dödsfall per år.

I ExternE finns inte framräknade grunddata för samtliga energislag för alla EU-länderna. Detta är dock inget stort problem eftersom man kan använda data från "likartade" länder.

Vi har räknat fram de totala hälsoskadorna för några länder som skulle kunna vara intressanta för en jämförelse med Sverige, nämligen Belgien, Danmark, Finland och Nederländerna. Resultaten visas i Diagram 4.

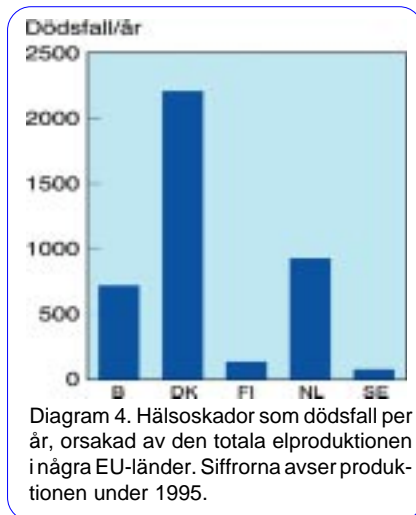


Diagram 4. Hälsoskador som dödsfall per år, orsakad av den totala elproduktionen i några EU-länder. Siffrorna avser produktionen under 1995.

Diagram 4 visar att för länder med stor andel kol och olja blir hälsoskadorna stora medan den svenska energimixen ger ringa negativa hälsoeffekter.

Elproduktionsdata för respektive land i tabellerna avser situationen år 1995 och redovisas i Diagram 5.

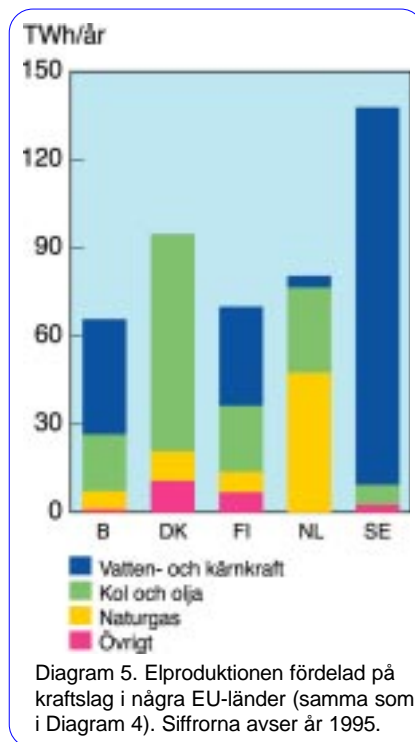


Diagram 5. Elproduktionen fördelad på kraftslag i några EU-länder (samma som i Diagram 4). Siffrorna avser år 1995.

### Exempel 2: Förbättring av inomhusmiljön i bostäder

Under 1970- och 80-talen minskades ventilationen i svenska bostäder med syftet att spara energi.

Enligt ref. 5 (Miljöhälsoutredningens betänkande "Miljö för en hållbar hälsoutveckling", SOU 1996:124) ledde detta till att antalet dödsfall i lungcancer orsakade av radon ökade med 125 fall per år.

För att åter öka ventilationen i äldre hus till den nivå som gäller vid nybyggnad enligt hälsoskyddslagen och därmed minska cancerfrekvensen behövs vid bibehållen värmestandard ett tillskott på 6 TWh elenergi per år.

Så är fallet för kärnkraft, där sannolikheten för en olycka vid västerländska reaktorer har beräknats till mycket låga värden. Av sådana skäl kan det vara lämpligt med en särredovisning för stora olyckor.

Standardverket för global redovisning av inträffade stora olyckor är "Severe Accidents in the Energy Sector"

Eftersom elproduktionen i Sverige inte kan ökas och Norge inte kommer att ha något överskott på elkraft kommer den ökade ventilationen att kräva import av kolkraft, huvudsakligen från Danmark.

Ökningen av antalet dödsfall härav (mest i Danmark) blir mellan 200 och 250 per år.

Den förbättrade ventilationen kommer alltså inte att löna sig i hälsotermer, skadan flyttas däremot från Sverige till Danmark.

Om man i stället hade kunnat använda svensk vatten- och kärnkraft skulle ökningen i antalet energirelaterade dödsfall bli 2 i jämförelse med de 125 liv som skulle sparas genom den ökade ventilationen.

### Exempel 3: Svenskt energiscenario år 2010

Enligt Energimyndighetens scenario för år 2010 (ref. 6) kommer elproduktionsnivån för den svenska elförsörjningen att öka från dagens 150 TWh per år till 170 TWh.

Elproduktionen i Sverige kommer att vara oförändrad varför 20 TWh måste importeras, huvudsakligen från Danmark. Antalet energirelaterade dödsfall kommer då att öka med 500–600 per år.

Återigen kommer Danmark att drabbas mest. Med ökad användning av svensk vatten- och kärnkraft skulle Danmark ha kunnat besparas denna skada.

## Stora olyckor

All energiproduktion är förenad med risk för olyckor och denna risk har vägts in i de resultat som redovisas i ExternE.

Den beräkningsmetod som används i ExternE har kritiserats eftersom stora konsekvenser multiplicerade med mycket små sannolikheter kan leda till obetydliga tillskott i riskbilden.

utgiven av Paul Scherrer Institut i Schweiz (ref. 7).

Där framgår att kol och olja är de värst drabbade energislagen när det gäller antalet stora olyckor och totala antalet akuta dödsfall mellan 1969 och 1996.

Först i en redovisning av antalet evakuerade blir kärnkraftens bidrag stort (på grund av Tjernobyli).

I diagram 6 redovisas en sammanfattning av olyckor inom energisektorn som inträffat i världen under tiden 1969 till 1996 (från ref. 7).

Orsaken till att vattenkraften dominerar i detta diagram, trots att antalet olyckor är mindre än för kol och olja, är några mycket stora olyckor utanför Europa.

### Barsebäck

I Sverige och Danmark har risken för stora skador och krav på omfattande evakueringar vid en eventuell olycka i Barsebäck dominerat i debatten.

Det kan därför vara av intresse att med hjälp av de resultat som redovisas i denna rapport göra en jämförelse mellan hälsoriskerna vid en kärnkraftolycka och från normaldriftutsläppen vid dansk kolkraftproduktion.

Stängningen av reaktorerna i Barsebäck leder till ett produktionsbortfall som under ett normalt vattenår inte kan kompenseras genom energibesparingar eller genom ökad produktion av kärnkraft och vattenkraft i Sverige och Norge.

Den enda möjligheten under en rad år framöver är ökad import av el producerad i koleldade kraftverk i huvudsakligen Danmark.

De ökade föroreningarna från drift av kolkraftverk, som vid bibehållen Barse-

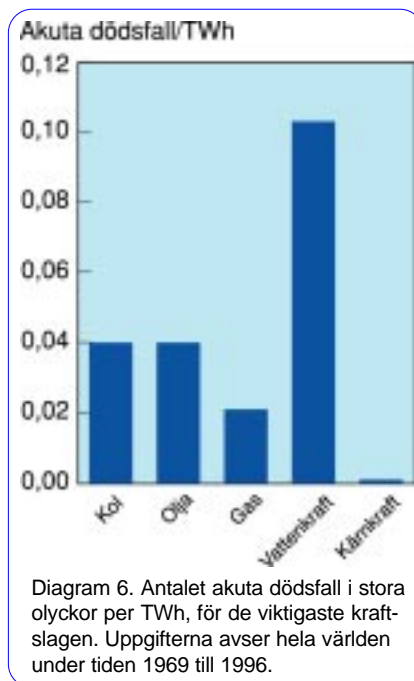


Diagram 6. Antalet akuta dödsfall i stora olyckor per TWh, för de viktigaste kraftslagen. Uppgifterna avser hela världen under tiden 1969 till 1996.

bäckproduktion skulle stått oanvända, kommer enligt data från ExternE att leda till cirka 200 dödsfall per år. De flesta av dessa kommer att inträffa i Danmark men några också i Sverige.

Enligt samma beräkningar ger Barsebäck i drift upphov till ett cancerdödsfall per år, en hälsorisk som skulle försvinna om driften upphör.

Enligt slutbetänkandet från 1994 års Energikommission (ref.8) kan utsläp-

pen från en Barsebäcksreaktor vid ett svårt haveri leda till 100 till 500 dödsfall i Europa under 50 år.

Detta gäller under förutsättning att utsläppsfiltret fungerar enligt myndigheternas krav (maximalt 0,1 % av härdens totala innehåll av radioaktiva ämnen släpps ut).

I själva verket visar mätningar vid installerade filter att effektiviteten är uppåt tio gånger bättre än vad myndigheterna kräver.

Det högre värdet (500 dödsfall) gäller för en mycket osannolik väderlekstyp.

Risken för en sådan olycka bedöms av myndigheterna vara ungefär en på hundratusen reaktorår medan sannolikheten är 100 % för 200 dödsfall per år då ersättningskraften produceras med kolkraft (beräknat med utgångspunkt från ExternE-data).

Om de utsläppsbegränsande anordningarna inte alls skulle fungera kan konsekvenserna av en reaktorolycka i Barsebäck bli betydligt allvarligare.

Enligt Energikommissionen skulle uppemot 2 000 – 8 000 dödsfall i cancer kunna inträffa i Europa under en 50-årsperiod (40 - 160 per år). Sannolikheten för en sådan olycka anges till mindre än en gång på en miljon reaktorår.

## Växthuseffekten

De två fundamentala frågorna är:

- Är det visat att jordens medeltemperatur har ökat under 1900-talet och fortsätter att öka?
- Om så är fallet, är detta ett fenomen relaterat till mänskliga aktiviteter, d.v.s. något som beror på utsläpp av växthusgaser, främst  $CO_2$  och  $CH_4$ ?

De flesta forskare som är engagerade i frågan svarar i dag ja på båda frågorna.

Det finns dock ett icke obetydligt antal forskare som ställer sig skeptiska och anser att det vetenskapliga underlaget är otillräckligt.

En besvärande komplikation är att frågan fått stor politisk betydelse så att de vetenskapliga frågorna kommit i skymundan.

### Slutförvar av $CO_2$ ?

Ett sätt att hantera  $CO_2$  problemet skulle vara att undvika utsläpp av  $CO_2$  till atmosfären. Detta skulle kunna göras genom avskiljning av  $CO_2$  från rökgaserna och deposition i lämpliga geologiska formationer, s k akvifärer.

En studie av detta förfarande har utförts inom Vattenfall Utveckling (ref. 9). Studien visar att:

1. Avskiljning av  $CO_2$  från rökgaser i dag utförs med framgång i stor skala, exempelvis i en pannanläggning i USA som hanterar 200 ton  $CO_2$  per dag.
2. Statoil kondenserar och injekterar sedan 1996 1 Mton per år  $CO_2$  i ett gasfält i Nordsjön, vilket innebär att deponering av  $CO_2$  i akvifärer i sandsten för närvarande bedrivs i kommersiell skala.

3. Det finns betydande akvifärer under Skåne och Östersjön. Den under Skåne är så stor att den skulle kunna lagra den svenska  $CO_2$  produktionen om 60 Mton per år under mer än 100 år.

4. Metoder för transport av  $CO_2$  i rörledningar och fartyg är väl utvecklade.

De beräknade kostnaderna för att omhändertaga  $CO_2$  utsläppen från ett stort kolkraftverk ligger i intervallet 150 – 400 kr/ton  $CO_2$ , vilket motsvarar en extern kostnad om ca 15 – 40 öre/kWh el.

### Externa kostnader

Inom ExternE har man gjort en omfattande utredning beträffande växthuseffektens externa kostnader.

En viktig slutsats också inom detta projekt är att underlaget för beräkning-

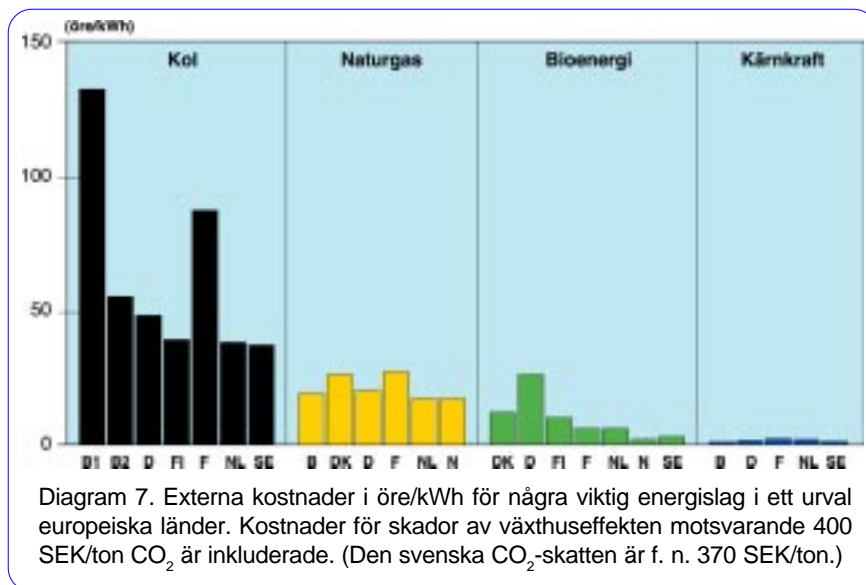
arna är mycket osäkert och därmed också resultaten.

Man har arbetat med två olika modeller för växthuseffekten. Båda bygger på scenarier för klimatutvecklingen presenterade av IPCC, *International Panel for Climate Change*. ExternE undviker att tala om medelvärde eller att rekommendera något "bästa värde". De diskuterade värdena för den externa kostnaden ligger mellan 35 och 1 250 SEK/ton CO<sub>2</sub>.

Inom detta intervall ligger såväl den ovan beräknade kostnaden för deponering som den svenska CO<sub>2</sub>-skatten. Diagram 7 visar några resultat från ExternE. (ref. 4)

Den enligt ExternE största beräknade skadeeffekten är skador på mänsklig hälsa huvudsakligen beroende på att malaria genom att det varmare klimatet kommer att spridas till i dag opåverkade länder och regioner.

Som jämförelse kan nämnas att summan av de övriga skadorna är av ungefär



samma storlek som de skador som vållas av växthuseffekten.

Om man vill dra någon slutsats av detta osäkra material skulle det kunna vara att skador genom växthuseffekten

varken dominerar eller är försumbara i jämförelse med de övriga externa effekterna för de energislag där växthuseffekten är av betydelse.

*Nils Starfelt, Carl-Erik Wikdahl*

Referensgrupp för denna rapport tillsatt av KSU:s Analysgrupp: Björn Cederwall, Swedpower; Hans Ehdwall, Kärnkraftsäkerhet och Utbildning; Mats Harms-Ringdahl, Stockholms Universitet; Gunnar Hovsenius Elforsk; Anders Pechan, Analysgruppen.

## Referenser

1. ExternE, Externalities of Energy, National Implementation, European Commission, Directorate General XII; 1999: Rapporten finns på hemsidan: <http://externe.jrc.es>
2. Christer Persson and Robert Bergström, SMHI: Atmospheric Transport Model Studies for Sweden – Comparison of EMEP Model Results and Evaluation of Precipitation Chemistry Station Networks.
3. Sources and Effects of Ionizing Radiation, United Nations Scientific Committee on Effects of Atomic Radiation, UNSCEAR; New York 2000
4. Nils Starfelt: Hälsa och miljöeffekter. En genomgång baserad på nya resultat från EUs ExternE-projekt. Bakgrund nr 2, 1998, utgiven av KSUs Analysgrupp, [www.analysgruppen.org](http://www.analysgruppen.org).
5. Miljö för en hållbar hälsoutveckling. Miljöhälsoutredningens betänkande SOU 1996:124
6. Energi och klimat. Utgiven av Statens Energimyndighet 2000.
7. S. Hirschberg, G. Spiekerman och R. Dones: Severe Accidents in the Energy Sector. First Edition. PSI Bericht Nr 98-16. Utgiven 1998 av Paul Scherrer Institut, Schweiz.
8. Omställning av energisystemet. Slutbetänkande av Energikommisionen SOU 1995:139
9. Sven Olov Ericson et al. Teknik- och kostnadsalternativ i Sverige för avskiljning och deponering av koldioxid som bildats vid förbränning av fossila bränslen för produktion av elkraft, värme och/eller fordonsdrivmedel. En systemstudie. Vattenfall Utveckling 1997

---

## Kärnkraftsäkerhet och Utbildning AB (KSU)

---

Kärnkraftsäkerhet och Utbildning AB (KSU) ansvarar för vissa gemensamma säkerhets- och utbildningsfrågor på uppdrag av ägarföretagen Barsebäck Kraft AB, Forsmarks Kraftgrupp AB, OKG AB samt Ringhals AB

Företaget utbildar kontrollrumsoperatörerna vid kärnkraftverken i Barsebäck, Forsmark, Oskarshamn och Ringhals genom bland annat träning i simulatorer och teoretiska kurser i kärnkraftteknik på högskolenivå.

KSU utvärderar också störningar som inträffat i svenska och utländska kärnkraftverk och är den svenska länken i ett internationellt nätverk för utbyte av drifterfarenheter.

Dessutom svarar företaget genom Analysgruppen för vetenskapligt grundad samhällsinformation om reaktorsäkerhet, radioaktivitet och dess verknings samt jämförelser av risker vid olika slags energiproduktion.

Huvuddelen av KSUs verksamhet är förlagd till Studsvik, belägen vid Östersjökusten tre mil norr om Nyköping.

## Analysgruppen vid KSU

---

Analysgruppen är en självständigt arbetande expertgrupp som deltar i samhällsdebatten om kärnkraft och strålning. Genom KSU är gruppen knuten till kraftindustrin. Gruppen utser själv sina ledamöter efter vetenskaplig kompetens, branschfarenhet och personligt engagemang.

Huvuduppgiften är att sammanställa och analysera fakta kring frågor som kommer upp i samhällsdebatten med anknytning till reaktorsäkerhet, strålskydd, radiobiologi och riskforskning.

Analysgruppen har ett stort kontaktnät både i Sverige och utomlands. Förutom de egna ledamöterna anlitas kvalificerade experter från industri och högskolor. Gruppen publicerar resultaten främst genom skriftserierna Bakgrund och Kärnkraftsfakta som också är tillgängliga på Internet.

**Hans Ehdwall**, radiofysiker, KSU

**Yngve Flodin**, Civilingenjör, Swedpower AB

**Mats Harms-Ringdahl**, professor, strålningsbiolog, Stockholms universitet

**Gunnar Hovsenius**, Tekn lic, miljö/naturresurser, Elforsk AB

**Carl-Göran Lindvall**, radiofysiker, Barsebäck Kraft AB

**Anders Pechan**, utredn. sekr, Analysgruppen vid KSU

**Agneta Rising**, radiofysiker, Vattenfall AB

**Carl-Erik Wikdahl**, civilingenjör, EnergiForum AB

## Internet

---

Analysgruppen ansvarar för en innehållsrik hemsida som täcker kärnkraften både i Sverige och utomlands.

[www.analysgruppen.org](http://www.analysgruppen.org) hålls ständigt aktuell och har ett omfattande länkbibliotek till nationella och internationella forskningsorganisationer, kärnkraftsmyndigheter och kraftföretag.

---