

Bakgrund utges av analysgruppen vid
Kärnkraftsäkerhet och Utbildning AB (KSU)
Box 1039, 611 29 NYKÖPING
Telefon 0155-26 35 00, Telefax 0155-26 30 74



Nr 2, juli 1996

Sekretariat/distribution:
Analysgruppen, Box 80, 186 22 VALLENTUNA
Telefon 08-511 802 90, Telefax 08-511 798 73
E-post: analys@apec.se

Beträffande grön el

Här står man som ett annat fån,
förvirrad i betänklig mån,
och tittar undrande på trån
som innehåller elen.
Hur kan man se att den är grön
och därmed nyttig för miljön
och hälsan, för den delen?

Var framgår det att denna el
ej sätter liv och lem på spel
emedan strömmens färg är fel
inuti själva tråden?
Den saken tål att tänka på
Debatten syns alltmera grå
ju mer vi lyssnar på den.

Kajenn

Kort sammanfattning av kunskapsläget:

Risker och externa kostnader vid elproduktion

Nils Starfelt *

Elektricitet och elanvändning har haft avgörande betydelse för den ekonomiska utvecklingen i världen. Elektriciteten har också haft stor positiv betydelse för människors livskvalitet. Detta är inte något som människor i västvärlden har i tankarna dagligen. Tillgången på el betraktas som självklar, men så är inte fallet i U-världen. Ännu idag saknar nära hälften av jordens befolkning elektricitet.

Elektrifiering i U-länder innebär en betydande förbättring av livskvaliteten, speciellt för kvinnor genom att de befrias från hårt kroppsarbete, t ex insamling av ved och kogödsel som bränsle för matlagning.

Men elproduktion har också negativa effekter, t ex utsläpp av luftföroreningar från fossileldade kraftverk, olyckor med gasledningarna och oljeplattformar och kanske inte minst en svår olycka i ett kärnkraftverk.

* Nils Starfelt har tidigare varit professor i tillämpad fysik vid universitetet i Linköping och forskningsdirektör vid Atlas Copco AB. Han verkar i dag som konsult och är även ordförande i forskningsnämnden vid Statens Kärnkraftinspektion samt ledamot av Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademien.

Externa kostnader

Under de senaste åren har internationellt betydande resurser ägnats åt att försöka minska, men också kvantitativt bedöma, de negativa effekterna av elproduktion.

En nu vedertagen metod är att beräkna de s k externa kostnaderna, d v s räkna ut vad den åstadkomna skadan motsvarar i öre/kWh. Detta gäller kostnader som inte redan genom priset på elektriciteten betalas av elkonsumenten.

Vid dessa beräkningar försöker man ta hänsyn till hela bränslecykeln, t ex vad gäller kärnkraften från urangruva över kraftverk, inklusive risken för olyckor, till slutförvaring av det använda kärnbränslet.

I denna rapport behandlas huvudsakligen skador som drabbar allmänheten.

Arbets-skador är oftast redan medtagna i produktionskostnaderna.

Beräkning av externa kostnader är en komplicerad process som hittills har genomförts endast av ett fåtal stora organisationer, såsom EU-kommissionen (1) och USAs energidepartement, USDOE, (2).

Det finns också en studie från delstaten New York (3).

Spridning av luftföroreningar

För luftföroreningar, t ex svaveldioxid, kväveoxider och radioaktiva utsläpp finns det nu datormodeller som beskriver spridningen från källan vid olika väderleksförhållanden.

Med kännedom om befolkningsfördelningar och hur verkan på människor beror av dosen räknar man ut skadan på människor. På liknande sätt beräknas miljöeffekter såsom skador på växtlighet och byggnader förorsakade av svaveldioxid.

Det sista svåra problemet är att sätta ett värde i pengar på skadorna, t ex förlust av ett människoliv. Man räknar här i allmänhet med ett "statistiskt" liv som anses vara värt cirka 25 miljoner kronor.

Samband dos - verkan

Den största och allvarligaste effekten av strålning och vissa luftföroreningar är cancer. Man har inte tidigare haft tillräckligt verklighetsunderlag för att kunna göra beräkningar för de föroreningar som produceras vid eldning med fossila bränslen.

Det är först på 1990-talet som sådana beräkningar har kunnat göras. För strålning har man sedan länge haft bra beräkningsmodeller och god kunskap om effekterna vid stora stråldoser.

Därför vet vi mycket mer om riskerna med kärnkraft, än om vilka skador eldning med fossila och biobränslen kan leda till. Ett stort problem är att man dock inte med säkerhet har kunnat fastställa hur stor verkan är på människor vid låga stråldoser.

Låga doser

För strålning används ett samband mellan stråldosen och dess verkan som har tagits fram av ICRP, International Commission for Radiological Protection, för användning vid bedömning av strålskyddsåtgärder.

Med kännedom om verkan av stora stråldoser, tusenfalt större än den naturliga strålningen, från främst atombomberna över Japan, uppskattas verkan av små doser.

Detta förfarande innebär att man räknar med att även de lägsta doser, långt under den naturliga strålningen, medför risk för skador fastän detta inte går att påvisa i verkligheten.

Eftersom radioaktiviteten, liksom andra luftföroreningar, kan spridas över mycket stora ytor med stor befolkning, kommer många människor att utsättas för låga doser, ofta mycket lägre än den naturliga bakgrundsdosen.

Men genom det försiktiga antagandet att även mycket låga stråldoser ger skadeverkningar trots att dessa aldrig kan spåras, får man beräkningsmässigt stora tal i form av cancerfall på grund av det stora antal människor som omfattas.

Eftersom det antagna dos-effektsambandet vid mycket låga doser inte är observerbart utan grundar sig enbart på hypoteser har dess betydelse för skadeförutsägelse börjat ifrågasättas (4).

Om detta vinner gehör kommer t ex det beräknade antalet dödsfall förorsakade av Tjernobylolyckan att minska.

Det kan också leda till mindre hårda kriterier för evakuering och omflyttning av människor vid en hypotetisk svår reaktorolycka och därmed lägre beräknade kostnader.

Tröskeldos?

För andra luftföroreningar, t ex kväveoxider och dammpartiklar, har man tidigare räknat med att det skulle finnas en tröskeldos under vilken ingen skada åstadkommes.

Nyare studier talar för att dessa föroreningar bör behandlas på samma sätt som strålning, och i de senaste beräkningarna har man behandlat också vissa icke-radioaktiva luftföroreningars hälsoeffekter liksom strålning med ett linjärt dos-verkansamband ner till noll (1).

Cancerrisken för icke-radioaktiva ämnen har dock ännu inte beaktats för fossila bränslen.

Svåra olyckor

Ett beräkningsmässigt svårt problem är de stora olyckorna. Det har hänt och händer fortfarande energirelaterade olyckor som leder till stora dödssiffror.

Tabell 1 visar antal och konsekvens av svåra olyckor 1969 - 1992 (5).

Kärnkraften har drabbats av en svår olycka som lett till konsekvenser utanför kraftverket, nämligen Tjernobyl.

Denna olycka kan inte ge någon ledning för beräkning av de externa kostnaderna för ett hypotetiskt svårt haveri i en västerländsk lättvattenreaktor.

Tjernobylreaktorn var fysikaliskt instabil, vilket västliga reaktorer inte är, och den saknade reaktorinneslutning.

Tabell 1 Svåra olyckor, 1969 - 1992 (1 GW = 1 000 MW)

	<u>Antal olyckor</u>	<u>Omedelbara dödsfall per GWår</u>
Kol	130	0,4
Olja	260	0,5
Naturgas	110	0,3
Vattenkraft	10	0,8
Kärnkraft	1	0,03

Säkerhetsfilter

De svenska reaktorerna har effektiva reaktorinneslutningar och dessutom numera också filter för att möjliggöra tryckavlastning av inneslutningen.

Dessa anordningar är dimensionerade så, att även i ett fall av ett svårt reaktorhaveri inga akuta dödsfall skall förekomma och inga stora markområden bli obrukbara.

Olyckskostnader

Olyckan i reaktorn vid Three Mile Island utanför Harrisburg i USA bekräftade att

härdsmlta kan inträffa i en lättvattenreaktor men också att reaktorinneslutningen var tillräcklig för att hindra sådana utsläpp av radioaktivitet som skulle kunna skada omgivningen.

Vi har nu erfarenhet av cirka 6 000 reaktorår i världen för lättvattenreaktorer, med en härdsmlta, dock utan utsläpp av radioaktivitet. Detta kan inte användas för beräkning av kostnaden förbunden med ett hypotetiskt svårt reaktorhaveri med tillräcklig noggrannhet.

Man använder i stället PSA, (Probabilistisk SäkerhetsAnalys) för att beräkna sannolikheten för olika hypotetiska olycksförlopp.

Sådana detaljerade beräkningar har utförts huvudsakligen för reaktorolyckor men inte för andra energislag.

Det torde vara motiverat att också räkna på andra hypotetiska stora olyckor som skulle kunna drabba oss. Historiskt har de största olyckorna gällt haveri av kraftverksdammar med flera tusen dödsoffer som följd. Den värsta reaktorolyckan, Tjernobyl, ledde till cirka 30 omedelbara dödsfall. Det totala antalet dödsfall är ett mått som kan användas för jämförelse av katastrofer.

Andra effekter som t ex markförstörelse är också svåra konsekvenser av olyckorna. Så ledde t ex Tjernobyl-olyckan till omfattande evakueringar.

De beräknade sannolikheterna för svåra reaktorhaverier är mycket små medan de tänkta skadorna kan bli mycket stora.

Den externa kostnaden beräknas alltså ur en produkt av en mycket liten sannolikhet och ett mycket stort tal som representerar kostnaden för den osannolika olyckan.

Den beräknade externa kostnaden blir i alla nyare beräkningar låg, 0,01 - 0,1 öre/kWh (ref. 1, 2, 5). Tidigare högre siffror har visat sig bero på felaktiga antaganden eller misstag i beräkningarna (6).

Om man accepterar metoden, blir den beräknade kostnaden för en hypotetisk reaktorolycka låg i jämförelse med andra negativa effekter av elproduktion.

Beräkningsmetoden, och därmed resultaten, har emellertid utsatts för invändningar.

"Aversion"

Det har framhållits att den av experter beräknade risken inte skall användas eftersom det i stället bör handla om människors känslor och egna upplevda uppfattningar om risker för en kärnkraftsolycka, s k aversion.

Det finns för närvarande inget tillförlitligt sätt att kvantifiera "aversionen" (utom möjligen genom opinionsmätningar) men studier pågår på flera håll (5). En ytterligare svårighet är att det är rimligt att antaga att graden av "aversion" kommer att variera med tiden. De presenterade externa kostnaderna i denna rapport bygger således på objektiva beräkningar.

Olycksscenarioer

Ett annat sätt att hantera problemet är att för beslutsfattare och allmänhet presentera den externa kostnaden för olycka och samtidigt ett antal olycksscenarioer.

Därigenom kan den subjektiva riskuppfattningen tas med i beslutsfattandet tillsammans med expertberäkningarna.

Det är dock rimligt att samma slags presentation göres också för andra energislag.

I det amerikanska energidepartementets rapport (2) presenteras beräkningar för olyckor av olika svårighetsgrad och för olika lägen för kärnkraftverket.

De allvarligaste konsekvenserna får man om en härdsmlta följs av ett tidigt stort brott på reaktorinneslutningen vid en reaktor i ett relativt tätbefolkat område.

Kostnaderna för de totala skadorna utom hälsoeffekterna blir 179 miljarder kronor.

Trots de höga siffrorna för skadorna blir den motsvarande externa kostnaden mindre än 0,1 öre/kWh. I denna siffra ingår också kostnaden för hälsoeffekter.

På grund av den mycket låga sannolikheten för en svår olycka blir alltså den externa kostnaden för reaktorolyckor endast en mindre del av den totala externa kostnaden.

Sannolikheten för att en svår olycka, en s k restriskolycka, skall inträffa i en svensk

reaktor har beräknats till mindre än en på en miljon driftår.

Växthuseffekten

Det stora problemet och det stora hotet för framtiden är växthuseffekten. Vid konferensen Electricity, Health and the Environment oktober 1995 (7) var växthuseffekten ett av de stora diskussionsämnena.

Klimatforskarna anser nu att det mesta talar för att det finns ett samband mellan utsläppen av växthusgaserna (bl a koldioxid och metan) och medeltemperaturen i atmosfären.

Det är fortfarande osäkert hur stor effekten är och när den kommer att få allvarliga verkningar. På grund av osäkerheten har växthuseffekten ännu inte tagits med i beräkningarna av externa kostnader.

I EU-rapporten (1) anges siffror för koleldning från olika uppskattningar som ligger mellan 14 öre/kWh och mycket högre värden.

Författarna av rapporten bedömer att de lägre siffrorna, cirka 25 öre/kWh, är mest realistiska men även med dessa siffror utgör växthuseffekten en stor börda för användningen av fossila bränslen.

För naturgas blir effekten mindre än för kol på grund av att mindre koldioxid bildas men detta motverkas delvis av läckage av metan från gasutvinning och ledningar.

Det anses i vida kretsar att riskerna för klimatförändringar är så stora att man nu bör vidtaga åtgärder för att minimera utsläppen av växthusgaser. (Denna uppfattning tycks inte delas av de beslutsfattare som skulle kunna ha verkligt inflytande över utvecklingen, nämligen regeringarna i USA och Kina (7))

Energihushållning

Energihushållningens möjliga negativa effekter har inte redovisats i de ovan diskuterade studierna, men har aviserats.

Energibesparing i byggnader kommer att omfatta åtgärder som innebär minskad ventilation vilket leder till ökning av radonkoncentrationen i radonhus och också till ökning av andra luftföroreningar inomhus.

Den största miljöförsämring som inträffat i Sverige under modern tid har direkt samband med energibesparingsåtgärder i bostäder under 1970- och 80-talen.

Enligt uppgifter från Statens Strålskyddsinstitut samt Cancerutredningen (8) och Allergikutredningen (9) kan man uppskatta att energibesparingarna i form av minskad ventilation i svenska bostäder ökat antalet dödsfall i lungcancer och allergier med flera hundra per år.

Dessa effekter kan också uttryckas som externa kostnader men några tillförlitliga beräkningar finns ännu inte.

Resultat

Tabell 2 visar de externa kostnaderna förbundna med elgenerering enligt EU-rapporten, ref 1. Växthuseffekten är icke inkluderad. Kostnaderna domineras av hälsoeffekter för allmänheten.

<p>Tabell 2 EU-rapportens externa kostnader, uttryckta i öre/kWh. Växthuseffekten är inte medtagen</p>

I de citerade referenserna finns också nuvärdesberäkningar av de externa kostnaderna. Siffrorna i tabellen motsvarar räntan "0", d v s även effekter långt in i framtiden har tagits med till full kostnad.

Om man räknar med en ränta som inte är "0" blir de externa kostnaderna för kärnkraft

Naturgas	0,8
Olja	12
Kol	14
Kärnkraft	0,5
Bioenergi	13
Vind	2
Vattenkraft	2

betydligt lägre än i tabellen på grund av den stora roll det långlivade radioaktiva ämnet kol-14 spelar.

Det är stora skillnader mellan de lägsta och högsta siffror som räknats fram, också för ett och samma energislag.

Detta beror på att utsläppen av föroreningar är beroende av förbränningsteknik och reningsgrad men huvudsakligen på var ett kraftverk är

beläget och hur t ex befolkningsstrukturen lokalt och regionalt är beskaffad.

Det är naturligt att ett kraftverk centralt beläget i Västeuropa förorsakar högre externa kostnader än en anläggning på landsbygden i USA.

Det kan vara intressant att observera att biobränsle ger lika höga externa kostnader som olja och kol. I studien från New York (3) ger biobränsle t o m den högsta externa kostnaden av alla energislag.

Nya svenska studier (10), som dock inte omfattar beräkningar av externa kostnader, stödjer de internationella resultaten genom att visa att de hälsofarliga luftföroreningarna från eldning med biobränsle är ungefär lika stora som luftföroreningarna från olje- eller koleldning.

De flesta värdena på externa kostnader är behäftade med stora osäkerheter. För luftföroreningar från eldning av fossila bränslen har man t ex i EU-studien räknat endast med akuta hälsoeffekter, alltså inte cancer.

De kroniska effekterna kan också vara av betydelse men på grund av osäkerheten i data har de inte inkluderats i beräkningarna.

De mest ingående och bäst dokumenterade beräkningarna gäller kärnkraft.

Några allmänna slutsatser

- *Om man bortser från växthuseffekten, dominerar hälsoeffekter från fossileldning och biomassa de externa kostnaderna vid elproduktion.*
- *Det är möjligt att vidareutveckla förbränningsteknik och reningsteknik och det är därför rimligt att konstatera att med ovanstående antaganden kan de externa kostnaderna göras små i jämförelse med de totala produktionskostnaderna för de storskaliga energiformerna, fossileldning och kärnkraft.
Detta gäller också bioenergi.*
- *Om man däremot vill ta hänsyn till växthuseffekten, tycks kärnkraft och vattenkraft bli de enda storskaliga energislagen för vilka de externa kostnaderna kan betraktas som små.*

Nils Starfelt

Externkostnadsanalys - bör den tas på allvar?

Externkostnadskonceptet, dvs att sammanställa och prissätta de samhällsskadliga effekterna av kraftproduktion, är inte nytt. Försök i den riktningen gjordes redan på 70-talet men fick stark kritik.

Sedan dess har förutsättningarna förbättrats avsevärt genom större kunskap och bättre databaser, men metoden möts fortfarande på sina håll av betydande skepsis.

Att olika kraftslag har helt olika riskspektra är en uppenbar svårighet - hur skall t ex risken för dödsfall vid ett dammras värderas i förhållande till icke identifierbara dödsfall p g a cancerframkallande ämnen?

Dessutom är kunskapsunderlaget för olika sorters risker ojämnt.

Men att avvisa metoden är enligt vår mening att kasta ut barnet med badvattnet. Vi ser likheter mellan externkostnadsmetoden och den för säkerhetsutvecklingen i vissa högteknologiska branscher så betydelsefulla probabilistiska säkerhetsanalysen (PSA).

För bägge gäller att värdet inte i första hand ligger i slutsiffrorna utan i den systematiska kartläggningen av olika riskbidrag som metoderna innebär.

Denna strukturering hjälper till att identifiera kunskapsbrister, att avslöja ofullständigheter och olikheter i analysen och att påvisa fel i rent intuitiva bedömningar.

Tidiga PSA-analyser av kärnkraftverk visade t ex att plötsliga brott i grova rörledningar tvärt emot vad man trott utgjorde ett mindre hot än läckor i klenare rör (som kunde vara svåra att diagnostisera).

Externkostnadsanalyserna har t ex visat att den samhällsskada som uppkommer genom eldning av biobränsle kan vara avsevärt större än kärnkraftens, vilket uppenbarligen slagit vissa politiker med häpnad (interpellationsdebatten i riksdagen den 11 juni 1996).

Vad bägge metoderna klart har illustrerat är att riskerna alltid är anläggningsspecifika. Resultaten av analyserna bör därför inte generaliseras. (Att generalisera utan några analyser alls är naturligtvis ännu vanskligare).

Men jämförelser av olika analysfall kan visa på möjliga förbättringar i både analysmetoderna och de tekniska systemen.

Ett mera långsiktigt skäl för att intressera sig för de olika energislagens externkostnad är det ökande intresset för att via miljöavgifter eller skatter etablera en realistisk totalkostnad på energimarknaden.

Det är således inte förvånande att tunga organisationer som EU-kommissionen och USAs Department of Energy på sistone lagt ner stora resurser på externkostnadsmetoden.

Inför den radikala omställning av energisystem som diskuteras i Sverige borde externkostnadsanalys – som en av flera metoder – tas på allvar också här.

Evelyn Sokolowski

Referenser

1. *Externalities of Fuel Cycles, "Externe"Project*
European Commission, Directorate-General XII, 1994
2. *External Costs and Benefits of Fuel Cycles*
US Department of Energy (USDOE) and the Commission of the European Communities, 1995
3. Rowe, R.D. et al., New York Environmental Externalities Cost Study: *Summary of Approach and Results*
Workshop on the External Costs of Energy Organized by EC and IEA-OECD, Brussels, January 30 - 31, 1995
4. Muckerheide J., *The health effects of low level radiation: Science, data and corrective action*
Nuclear News, September 1995
5. Hirschberg S., *Framework for and Current Issues in Comprehensive Comparative Assessment of Electricity Generating Systems*
International Symposium on Electricity, Health and the Environment, Vienna 16 - 19 October, 1995

6. Starfelt, N., *Externa Kostnader för Elproduktion i Sverige*
Kärnkraftsäkerhet och Utbildning AB, Nyköping, 1995
7. *International Symposium on Electricity, Health and the Environment*,
Vienna 16 - 19 October, 1995
8. SOU 1984:67
9. SOU 1989:76
10. Bohlin, Hjalmarsson, Wiklund och Åkesson, Energi och Miljö, *Miljökonsekvenser vid användning av naturgas, biobränsle, olja och kol*.
ÅF-Energikonsult, Stockholm, 1995.