FoU rapport

Riskhänsyn i samhällsutvecklingen

Etapp 2
Materiella förutsättningar – energi och avfallshantering

RÄDDNINGS VERKET

FoU rapport

Riskhänsyn i samhällsutvecklingen

Etapp 2
Materiella förutsättningar – energi och avfallshantering

RÄDDNINGS VERKET

Riskhänsyn i samhällsutvecklingen
Etapp 2
Materiella förutsättningar – energi och avfallshantering

Rapporten har utarbetats av:
Urban Hermansson, Effect Management AB, Karlstad.

Författaren svarar för innehållet i rapporten.

Räddningsverkets kontaktperson:
Jan Schyllander, Riskenheten, telefon direkt 054-10 41 41, växel 054-10 40 00.

1997 Räddningsverket, Karlstad
Risk- och miljöavdelningen
ISBN 91-88890-83-X

Beställningsnummer P21-179/97
1997 års utgåva

Riskhänsyn i Samhällsutvecklingen

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

SAMMANFATTNING 2

BAKGRUND/SYFTE 4

UPPDRAGET 5

PROBLEMSAMMANFATTNING ENLIGT ETAPP 1 6

MODELLER/METOD/VERKTYG 7

SAMHÄLLSUTVECKLINGSMODELLEN - ETT PRAKTIKFALL 12

ENERGI - EXEMPEL 20

- INLEDNING 20
- LÄGE OCH PROGNOSER - 1992 22
- FOSSILA BRÄNSLEN 24
- KÄRNENERGI 41
- BIOBRÄNSLEN 52
- FLÖDANDE ENERGIKÄLLOR 59
- AVFALLSENERGI 65
- ELEKTRICITET 69
- VÄTESAMHÄLLET 70

KOMMUNALA EXEMPEL 88

PRÖVNING AV MODELLER/PROBLEM 92

NÄSTA STEG 94

REFERENSLISTA 96

Siffror inom parentes i texten hänvisar till Referenslistan.

Riskhänsyn i Samhällsutvecklingen

Sammanfattning

Rapporten utgör det andra steget i projektet "Riskhänsyn i samhällsutvecklingen". Den inledande studien tog upp problemställningar och skilda möjligheter att identifiera dem. Här har modellerna tillämpats på ett tekniskt område - energiförsörjning.

Utvecklingsmodellen bygger på att samhället kan beskrivas som ett system med ett fåtal övergripande, ömsesidigt påverkande delsystem. Det ger underlag för att konstruera scenarier, genom att analysera komponenter i delsystemen. Vilka som väger tyngst i verkligheten går ibland att läsa ut i forskningsrapporter eller utredningar. I andra fall blir det fråga om uppskattningar aller gissningar. Det framgår då t.ex. att

- kärnkraften knappast kommer att avvecklas i avsedd takt, utan att stora förändringar genomförs i industri och samhälle. Redan nu förutser vi tidsbrist för att hinna investera i nya energikällor.

- ett miljövänligt energisystem baserat på flödande energikällor och med el och väte som energibärare är möjligt, men inte sannolikt förrän på mycket lång sikt.

Modellen har testats med historiska uppgifter om utvecklingen av oljeförsörjningen sedan 1973.

Med stöd av liknande prognoser och riskbeskrivningar för respektive energisystem är det möjligt att göra riskscenarier. Det går således att redan i samhällsplaneringen ta riskhänsyn. Energiförsörjningen tränger in i varje skrymsle av samhället och bör därför ge en vink om hur riskhänsyn skall integreras i planeringen.

För varje energislag och energibärare utvecklas system med skilda karakteristiska drag. Systemen analyseras och beskrivs med hjälp av en system/processmodell, som även omfattar risker. Störningar och olyckor betraktas som oönskade resultat av processen, medan produkter/effekter utgör de nyttiga resultaten. En direktkoppling mellan energislag och oönskade konsekvenser ger följande översikt:

	Brand	Explosion	Gift	Sammanbrott	Kollision/fall	Köldskada
Kol	X		X		X	
Olja	X		X		X	
Naturgas	X	X *)				X *)
Gasol	X	X *)			X	X *)
Torv	X	X			X	
Kärnenergi	X		X		X	
Biobränslen	X	X			X	
Solenergi	X 1)		X 2)			
Vindenergi						
Vatten				X		
Avfall	X		X		X	
Elektricitet	X					
Väte	X	X				X *)

*) *Kondenserad*
1) *Fr. a. i storskaliga system*
2) *Värmebärande vätskor*

Ämnesområdets omfattning har medfört att alla energislag inte har kunnat behandlas lika utförligt. Av bl.a. pedagogiska skäl har ett vätebaserat energisystem valts för den mest fullständiga genomgången. Det innehåller både stora fördelar och faror. Indikationerna blir tydliga.

Undersökningen leder till slutsatsen, att modeller och metoder är relevanta och går att anpassa till verkliga förhållanden. Det visar sig också att metodkedjan inte blir fullständig, förrän vi lägger till en översättning av aktiviteter till risker. Den kallas här för "transformationsmetod".

Rapporten behandlar energiförsörjning i huvudsak utifrån tekniska aspekter. I vissa fall har dock även aktörsaspekten berörts. Den kommer att fördjupas i projektets tredje fas. Som avslutning lämnas ett förslag om att dela upp den i två delstudier. En skall gå in på beslutsprocesserna och en på hur operatörer och allmänhet agerar.

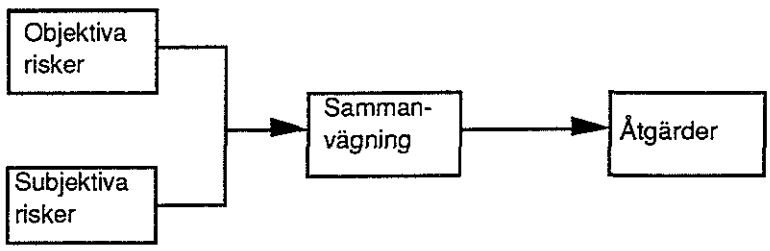
Undersökningen väcker frågor som har betydelse för bearbetning av risker. Några av central betydelse är

- Hur prissätter/värderar vi olyckor?
- Hur identifierar vi risker i framtida, komplexa system?
- Hur väger vi risktagande faktorer mot varann?
- Ger begreppet "risk" i nuvarande tappning den lämpligaste utgångspunkten, när de flesta situationer kan relateras till mänskligt handlande?

Bakgrund/syfte

Det ursprungliga utkastet till Räddningsverkets Riskprojekt bestod av en modell med fyra block:

Figur 1



I princip skulle projektet genomföras som en stegvis process från vänster till höger i modellen. Under arbetets gång har också kunskapen vuxit framför allt inom de första blocken. Det har bland annat visat sig att blocken inte går att hålla isär så tydligt som modellen antyder. Upplevelse av risk påverkar mänskligt beteende. Det återverkar i sin tur på den totala risk, som uppstår, när människan utgör en del av ett system. Analysen av objektiva och subjektiva risker kommer med andra ord att implicit innebära en sammanvägning på detaljnivå. Tonvikten ligger emellertid på olika ställen. Objektiva risker avser primärt företeelser, som går att i naturvetenskaplig mening mäta och beskriva, medan subjektiva risker analyserar människans förhållande till och beteende inför de risker hon upplever.

Delprojektet "Riskhänsyn i Samhällsutvecklingen" avser att samla kunskaper från de första blocken och sätta in dem i ett sammanhang. Projektet är preliminärt uppdelat i fyra faser

1 Problemdefinition
2 Materiella förutsättningar
   - Exempel med energi och avfallshantering i samhällsutvecklingen
3 Skissering av modell för aktörsbeteende
4 Åtgärdsmöjligheter

Denna rapport är den andra inom projektets ram och avser liksom den första att belysa och analysera problemen samt ge en grund för de kommande faserna.

Uppdraget

Omfattning och mål

Uppdraget formulerades på följande sätt av Räddningsverket:

"Delprojektet omfattar förslag till samhällsbeskrivning, som går att använda vid riskbedömning.

Arbetet skall innfatta områdena:

- energi och avfallshantering med fördjupning inom området kondenserade gaser
- undersökning av beskrivningsmodellernas relevans och om de uppräknade problemen kan verifieras/falsifieras

Energistudien skall omfatta samtliga aktuella former d.v.s. c:a 20 st. beroende på klassifikationsmetod. Tyngdpunkten skall läggas på gasol, naturgas, avfallsenergi förgasningsteknik och vätgas. Övriga former skall studeras översiktligt med hjälp av skriftliga källor.

Avfallsstudien skall omfatta riskavfall, soptippar och utsläpp."

I diskussion med uppdragsgivaren har följande ändringar och preciseringar skett

- avfallshantering har begränsats till avfall som energikälla
- utsläpp avser endast giftiga substanser
- biobränslen har samlats under en rubrik
- fördjupning av tidigare identifierade problem har genomförts för väte.

Metod

Underlag till studien har hämtats från intervjuer, tidigare studier i Riskprojektet, skriftliga källor och rapporter samt allmänt tillgänglig litteratur.
Samhällsutvecklingsmodellen har prövats med historiskt underlag och sedan tillämpats på respektive energislag.

Varje energislag har beskrivits med principiella flöden. Möjliga framtidsperspektiv har analyserats med hjälp av samhällsutvecklingsmodellen. Flödena har legat till grund för slutsatser om risk och säkerhet.

Problemsammanfattning enligt etapp 1

I den första etappen identifierade vi en rad tänkbara problem. De strukturerades i

- processrelaterade problem
- situationsrelaterade problem
- metoder och verktyg

Vi nöjer oss här med att rekapitulera dem. För en närmare beskrivning hänvisas till rapporten för etapp 1.

Processrelaterade problem

Okoordinerade beslutsprocesser
Målkonflikter
Övergång från insikt till handling
Mänskligt beteende
Förutsägelser
Tempo
Utveckling i små steg
Överlagrade förändringsprocesser

Situationsrelaterade problem

Arbetets individualisering
Situationers sällsynthet
Informationens komplexitet i stora system
Motsättningar i riskbegreppet
Trubbig information
Utvärdering av åtgärder
Missbruk/stimulantia

Metoder och verktyg

Kultur
Språket
Metoder
Analys
Statistik

Vi sammanfattade problemen med riskhänsyn i samhällsutvecklingen i sin mest generella form innebärande att

- i tillräckligt god tid uptäcka, förstå och värdera risker
- identifiera aktörer lokalt och centralt
- känna till åtgärder och deras konsekvenser

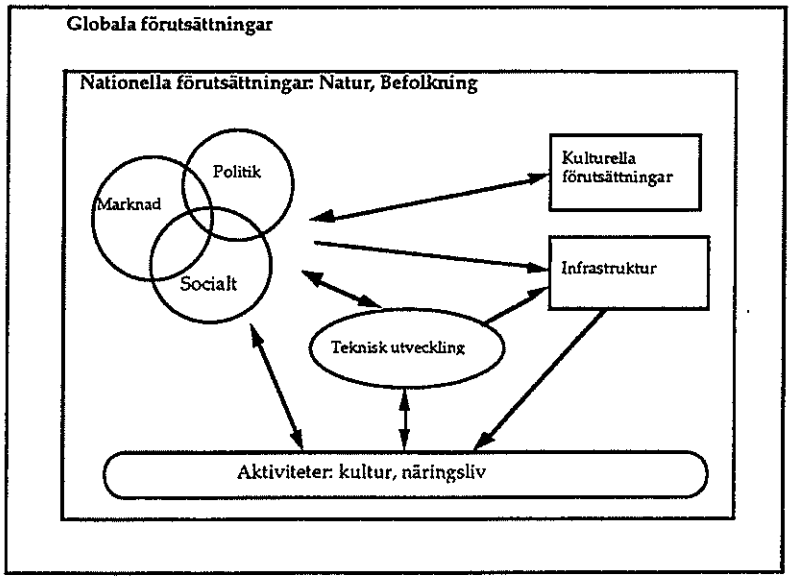
Modeller/metoder/verktyg

I etapp 1, presenterade vi några modeller, metoder och verktyg. Skiljelinjen mellan dessa är inte strikt i detta sammanhang, utan avser att beskriva tillämpningar. Således använder vi samhällsutvecklingsmodellen som metod, genom att föra in konkreta parametrar i modellens olika delar. Verktyg syftar på en specifik teknik inom en metod för att åstadkomma ett resultat t.ex. en kalkyl.

I etapp 2 kommer vi främst att uppehålla oss vid modellerna för samhällsutveckling och processer

Samhällsutvecklingsmodell

Fig. 2



Avsikten var att försöka finna ett sätt att identifiera och strukturera faktorer som driver eller hämmar förändringsprocesser. Här uppstår då en rad frågor t.ex.

- Är modellen användbar för att detaljstudera drivkrafter/hämningar?
- Går det att med modellens hjälp bättre bedöma sannolikheten för olika scenarier?
- Ger modellen begriplig och relevant information?

Vi skall pröva detta genom att betrakta energiområdet i ett historiskt perspektiv.

Innan vi går in på det skall vi något utförligare gå in på de skilda delarna i modellen.

Marknad

Det marknadsekonomiska styrsystemet. Där placerar vi således alla faktorer, som reglerar produktion och utbyte av varor och tjänster till priser styrda av tillgång och efterfrågan.

Politik

Faktorer som bestäms av politiska beslut. Det omfattar lagstiftning, myndighetsutövning, men också fördelning av ekonomiska resurser och ingrepp i marknadssystemet. Det sistnämnda kan bestå i att staten beskattar vissa varor och tjänster, att allmännyttiga och kommersiella företag arbetar på samma marknad eller att lagar och regler begränsar skilda verksamhetsfält.

Socialt

Det sociala styrsystemet. Det byggs upp av människors sociala nätverk med sina relationer och normbildningar. Det har på senare år diskuterats under rubriker som "det civila samhället" eller "den lilla världen".

Överlappningar mellan de tre styrsystemen betyder att flera styrfaktorer är aktiva samtidigt. Som exempel kan vi välja kommunal energiverk som strikt regleras av lagar, men finansieras av avgifter. De finns i konkurrens genom att kunderna/allmänheten kan välja energislag. De har samtidigt skyldighet att tillhandahålla el till reglerade priser. Den s.k. informella ekonomin utgör ett exempel på överlappning mellan Marknad och Socialt.

Kulturella förutsättningar

Den svårfångade substans som ligger i vår historia, våra traditioner och vedertagna kunskaper och föreställningar. De bildar en ram av etiska, begreppsmässiga och språkliga regler. Kulturella förutsättningar förändras mycket långsammare än ekonomi och teknik. De får i vårt sammanhang den dubbla funktionen att erbjuda miljön, där förändringar kommer till stånd samtidigt som de bromsar konsekvenserna. Fenomenen är välkända, men ofta svåra att påvisa i verkligheten.

Infrastruktur

De fysiska resurser som människor byggt upp t.ex. vägar, dammar, telefonnät och byggnader. Energiområdet har under 1900-talet krävt stora investeringar i infrastrukturen i form av distributionsnät för el, kraftstationer, oljedepåer m.m. Investeringarna binder ett stort kapital och har en lång livslängd. Det medför att de, när de kommit på plats, blir billiga att utnyttja, men dyra att ersätta. Kärnkraftsdebatten speglar detta förhållande.

Teknisk utveckling

Sedan länge motorn i samhällsutvecklingen. Den påverkar alla övriga styrsystem genom att ständigt tillhandahålla nya möjligheter. I samhällen där marknadssystemet får stor frihet kommer de tekniska möjligheterna förr eller senare att realiseras.

Nationella förutsättningar

Befolkning, geografi och resurstillgångar sätter upp villkoren för övriga system. Den moderna utvecklingen reducerar och kommer så småningom att eliminera de nationella förutsättningarnas betydelse.

Globala förutsättningar.

När nationella och regionala gränser luckras upp begränsas styrsystemen endast av de globala förutsättningarna. De består av samma komponenter som de nationella och regionala, men omspänner hela Jorden.

Den tekniska utvecklingen resulterar i en dynamik som är svår att beskriva och förstå. I efterhand inser vi lätt den betydelse, som boktryckarkonsten haft på kunskapsspridningen och därmed kultur, marknad, politik och socialt liv. Likaså kan vi dra slutsatser om järnvägens betydelse för uppkomsten av stora industrier och städer. Det är inte lika lätt att se effekterna av den samtida teknikutvecklingen. Skillnaden ligger fr.a. i det stegrade tempot och bredden. Det påstås ibland att majoriteten av alla vetenskapsmän fortfarande lever. Om det är sant förstår vi, att redan ett fåtal nya tankar från var och en av dem skapar en oöverskådlig kunskapstillväxt. Marknadens konkurrensvillkor hetsar företagen till att så snabbt som möjligt förnya sina produkter. De politiska och sociala styrsystemen har uppenbara svårigheter att följa med i tempot. En konsekvens av de spänningar som uppstår är olika former av risker. Vi ser det bl.a. i trafiken. Tekniken ger människor tillfälle att köra ihjäl både sig själva och andra. Styrsystemen har blott till en del kunnat begränsa olycksfallsriskerna, vilket skadestatistiken tydligt utvisar. Numera uppmärksammar vi de miljörisker, som människan skapar. Vi vet att människan försummat det under tidigare epoker. Här finns gott om historiska exempel. Till följd av framstegen inom båtbyggnadskonsten i början av vår tideräkning skövlade man skogar, som långt ifrån alltid har kunnat återställas. Förstörelsen tog hundratals år, vilket förklarar, varför man inte förstod sambanden. I dag lever vi med konsekvenser som översvämningar, ras och skred. Giftiga avfallslager vid nedlagda industrier är sentida exempel på bristande förståelse för riskerna. Teknik och marknad höll ett tempo, medan politik och sociala förhållanden släpade efter.

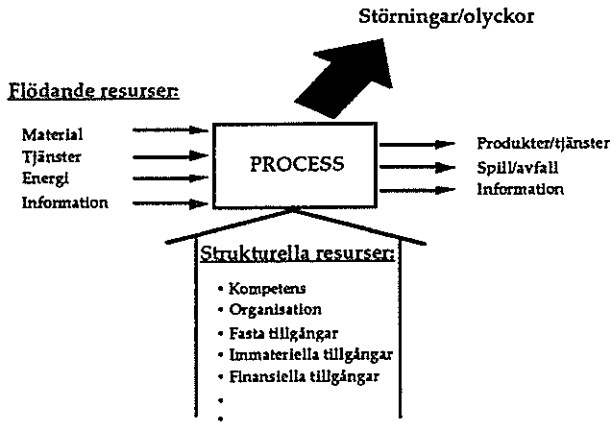
Några exempel på hur förutsättningar förändras (54)

- Marknader omskapas internationellt med nya blockbildningar som inom sig har speciella regelsystem.
- Politisk styrning förändras genom avregleringar.
- Det sociala systemet förändras genom stor invandring.
- En ny väg eller flygplats påverkar förutsättningarna för en region.
- Innovationer gör vissa företag till vinnare och andra till förlorare.
- Naturkatastrofer kan ödelägga tidigare blomstrande bygder.

Vi måste hålla i minne att helheten inte låter sig beskrivas enbart i systemtermer. Det finns irrationella och oförutsägbara faktorer inblandade. Tillsammans med naturliga system, som innehåller kaotiska element bildar de en icke deterministisk helhet (35).

System/processmodell

Fig. 3



Figuren visar modellens struktur och omfattning i ett enda steg. Vid analys av ett system länkas flera steg till varann i en kedja. En produkt från en process går in som material i nästa steg. En av modellens förtjänster ligger i att den fungerar med olika förstoringsgrader. Det spelar således ingen roll om "process" avser en hel fabrik eller ett operationssteg i en verkstad. Modellen fungerar i båda fallen.

Exempel. Bygggnadsmaterial i trä

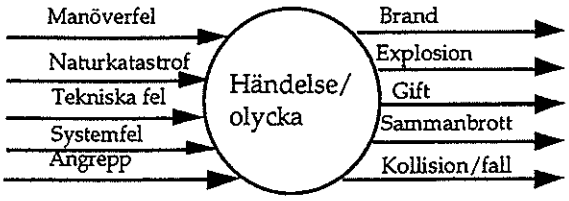
Övergripande flöde

Förstoring av processen "Tillverkning av .....".

Var och en av processerna går sedan att analysera med avseende på de faktorer som modellen anger. I praktiken förenklar vi beskrivningen genom att endast ta med så mycket, som syftet i det speciella fallet fordrar. För att konstruera datasystem förstorar vi informationsflödet, logistiksystem, transporter och lager osv. På så vis blir modellen ett enkelt arbetsredskap.

Observera att vi betraktar störningar och olyckor som utslag av aktiviteter i processen. Teoretiskt kan vi beskriva störningen som ett oönskat resultat till skillnad från produkten, som utgör ett önskat. Fördelen ligger i, att vi skapar en helhetsbild, där störningar inom samtliga delar kan åstadkomma en olycka. Människa och maskin ingår i samma system. Vi får en utförligare bild i följande figur:

Fig. 4

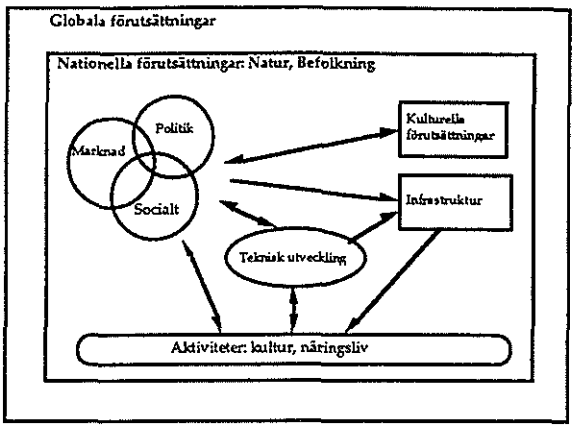


För övriga metoder som nämns nedan hänvisar vi till litteraturen på respektive fält. Det gäller t.ex. riskanalys.

Verktyg som utnyttjas vid tillämpningen av en metod berörs inte här. Vi nämner dock PSA, Probabilistic Safety Analysis som exempel. Den kallas ömsom för metod, ömsom för teknik. Med vår terminologi räknar vi den som ett verktyg för riskanalys (metod).

Samhällsutvecklingsmodellen – ett praktikfall

Fig. 5



Efter preciseringarna av modellen i föregående avsnitt återvänder vi till de inledande frågorna.

1. Användbarhet.

Energimarknaden i Sverige har påverkats av några stora och en mångfald små beslut och händelser. Vi går tillbaka till 1973 och noterar:

1973	den första oljekrisen
1976	beslut att stoppa fortsatt utbyggnad av kärnkraft
1979	Harrisburgolyckan
1979	den andra oljekrisen
1980	folkomröstningen om kärnkraft
1986	Tjernobylolyckan

Företag och regeringar har fattat rader av beslut som måste ses i ljuset av de stora händelserna.

Oljekrisen 1973 ledde till att oljepriserna fyrdubblades på kort tid (7). Detta sände en chockvåg genom alla led i ekonomin, eftersom oljan dominerade kraftigt som energikälla. Sverige liksom flera länder hade redan ett kärnkraftprogram. Några reaktorer hade satts i drift. Prishöjningarna med åtföljande förmögenhetsöverföring till de oljerika länderna utlöste/förvärrade en djup lågkonjunktur i mitten av 1970-talet. Kraftföretag och några politiska partier förespråkade en snabbare utbyggnad av kärnkraften. Samtidigt växte motståndet inom miljörörelsen mot kärnkraften. Oljans miljömässiga nackdelar hade emellertid uppmärksammats, varför det ändå rådde enighet om att oljeberoendet måste minska. Det går heller inte att bortse ifrån den kulturella aspekten. I Sverige och andra länder upprördes många över att det fanns "shejker" som blev stormrika på vår bekostnad. Sannolikt dolde upprepade uttalande av den typen även åsikter av betydligt grumligare sort.

Utan att gå för långt vågar vi påstå att "arab" klingade illa i många människors öron under de här åren. Åsikternas betydelse för energipolitiken låg i att det uppstod ett folkligt stöd för att minska oljans betydelse för svensk energiförsörjning. Vår modell skulle mot denna bakgrund säga oss att

- marknaden för nya billigare alternativ växer
- politiken inriktas mot nya energisystem
- en ny infrastruktur håller på att byggas upp (kärnkraftverk, distributionsnät)
- uppfattningar inom de kulturella och sociala systemen stödjer en omorientering av leverantörsnätet
- nationella och globala förutsättningar kvarstår; oljan räcker under överskådlig tid.

Oljekrisens ursprung är dunkel, men kan med viss sannolikhet härledas till spänningar mellan oljestaterna och de globala oljeföretagen. Det ligger ingen teknisk utveckling bakom, möjligen en växande insikt hos de berörda staterna.

En god prognos vid mitten av 1970-talet skulle varit att oljans betydelse för elgenerering och uppvärmning skulle minska. Däremot saknades realistiska alternativ för transportsektorn. Prognosmakaren skulle reservera sig för att oljepriserna sjönk tillbaka och allt återgå till utgångsläget. Den primära ersättaren till oljan skulle bli kärnkraft. Tiden för omställning kunde kalkyleras med planerad kapacitet och möjlig utbyggnadstakt.

Den allt häftigare debatten om kärnkraften under 1970-talet nådde sin kulmen med valet 1976. Resultatet blev att beställda kraftverk skulle levereras och tas i drift (med vissa reservationer om avfallshanteringen), medan inga nya skulle få byggas. Den sammanlagda kapaciteten för elgenerering fram till slutet på 1980-talet kunde nu beräknas, eftersom vattenkraft och kärnkraft skulle komma att svara för den dominerande andelen. Olja, kol och andra energislag skulle ge marginella tillskott. Det politiska systemet har nu, dels bestämt taket för en energikälla, dels beslutat att marknaden skall få tillgång till en väsentligt större volym elkraft än tidigare. Prognosmakaren kan hålla fast vid sin prognos, men måste väga in en obekant faktor för tiden efter mitten av 1980-talet.

1979 inträffade olyckan vid kärnkraftverket i Harrisburg. Fram till dess hade kärnkraftens risker främst varit ett ämne för invigda experter och engagerade miljödebattörer. Nu visade de sig högst verkliga för alla. Trots att olyckan var ytterst allvarlig ledde den inte till några svåra konsekvenser, då man lyckades behålla radioaktiviteten i byggnaderna. De politiska konsekvenserna blev desto större. I många länder startade en kärnkraftdebatt på allvar. Den fick konkreta följder, som att avstå från utbyggnad (Danmark) eller låta bli att ta färdiga verk i bruk (Tyskland, Österrike). Sveriges riksdag beslöt att hålla en folkomröstning 1980. Samma år, 1979, utbröt den andra oljekrisen som en konse-

kvens av kriget mellan Iran och Irak. Oljepriserna som sjunkit något sedan 1973 fyrdubblades än en gång. Detta förstärkte tendenserna från mitten av 1970-talet med ett minskat oljeberoende. Två av de huvudsakliga energikällorna stod nu under debatt. Förberedelser för ransonering av olja och bensin i början av 1980 bidrog till att öka intresset hos praktiskat taget alla medborgare. Folkomröstningen gav också upphov till en omfattande kartläggning och diskussion om s.k. förnybara energikällor. Antalet artiklar och böcker om vindkraft, solenergi, bioenergi m.m. mångdubblades på kort tid. Utan överdrift rådde en stor optimism om framtidsutsikterna för dessa miljövänliga och mindre riskfyllda alternativ. Den opinionsmässiga basen för en snabb teknisk utveckling hade skapats. Ekonomiska kalkyler vid denna tid pekade emellertid ut kol, som det mest konkurrenskraftiga alternativet. Inom dåvarande ASEA-gruppen bedrev man en systematisk produktutveckling med inriktning på kol, främst med s.k. virvelbäddsteknik.

Folkomröstningen slutade med att befintliga kärnkraftverk skulle få drivas till slutet av sin ekonomiska livslängd. Prognosmakaren kunde nu hålla fast vid sina förutsägelser för de närmaste decennierna. Den obekanta faktorn blev dock viktigare och mer sammansatt.

Under åren efter folkomröstningen vidtog regeringarna en del åtgärder som en slags reflex av debatten. Två stora vindkraftanläggningar byggdes (Maglarp, Älvkarleby). Bidrag lämnades till installationer av värmepumpar, kaminer, elreglering o.s.v. Forskningsresurser avsattes för hela energiområdet.

1986 inträffade olyckan i Tjernobyl, som på nytt satte fart på kärnkraftsdebatten. Denna gång slutade det inte lika odramatiskt som efter Harrisburg. Flera människor omkom direkt vid olyckan och utsläppen drabbade stora områden. Olyckan medförde att de redan tidigare högt ställda kraven på säkerhet ytterligare skärptes. Från flera länder hördes krav på att de sämsta verken av Tjernobyltyp skulle stängas omedelbart. Efter sammanslagningen av Öst- och Västtyskland stängdes också ett verk (Greifswald).

Under slutet av 1980-talet och i början av 1990-talet har inga definitiva genombrott av ny teknologi inträffat som väsentligt förändrat bilden. Det råder fortfarande delade meningar om vilka energikällor, som skall ta över efter oljan och kärnkraften.

Hur har då energimarknaden utvecklats från 1973 och fram till nu? några exempel (underlag 7, 49-53):

- elanvändningen har ökat väsentligt både i industrin och hushållen. Oljeuppvärmning har i stor utsträckning ersatts med eluppvärmning.
- Tunga eldningsoljor har minskat väsentligt
- från 1985 och framåt sjönk oljepriserna kraftigt vilket lett till att övergången till el bromsades. Bl.a. rasade försäljning och installation av värmepumpar.
- kärnkraftverken har graderats upp kontinuerligt och kan nu leverera 528 MW mer än ursprungligen planerat.

- elskatten har höjts från 4 öre 1980 till10 öre/kwh
- skatten på eldningsolja har höjts från 100 kr/kbm 1980 till 1100 kr/kbm
- sol- och vindenergi har svårigheter att komma ner till prislägen där ett kommersiellt genombrott blir aktuellt
- den stora utbyggnaden av naturgas har stannat av och når endast södra Sverige
- avfall har på flera håll börjat utnyttjas för energiändamål. Ex. Högdalen i Stockholm
- bioenergi ökar sakta
- torv utvecklas långsamt bl.a. som följd av att det klassas som fossilt bränsle med högre skattesats än biobränsle.
- vätgas har inte kommit till större användning än förut
- värmepumpar ökade snabbt till 1985, men har sedan legat stilla
- gasol ökade mycket snabbt t.o.m. 1991, men har därefter bromsats

Intervjuer med marknadsaktörer [Olsson, Bruce] visar att man upplever energipolitiken som förvirrad. "Det bästa beslutet skulle ha varit att inte göra någonting". Ser vi emellertid till huvuddragen kan vi konstatera att vår modell skulle givit oss en bild, som stämt i allt väsentligt. Marknadssystemet och politiska beslut har drivit fram allt större elanvändning på fr.a. oljans bekostnad. Inga nya tekniska genombrott har ännu påverkat bilden. Ny infrastruktur (naturgas) har inte nått förväntad spridning. Politiskt stöd för vissa energiformer har gett små effekter eftersom de inte fått verka under tillräckligt lång tid. Analysen stödjer alltså tanken att modellen är användbar för att studera drivkrafter/hämningar. Reservationer får göras på två plan:

1 Vi har endast tittat på energiområdet. Andra områden kan följa andra spår.

2 Slutsatserna gäller över långa tidsperioder. Snabba förändringar kan kullkasta förutsägelser Förhållandena inom energisektorn är emellertid långvariga. Omställningar tar år och decennier, vilket framgår ovan. Den enda faktor som mycket snabbt skulle påverka Sveriges energiförsörjning vore en stor kärnkraftolycka i Sverige. Då skulle sannolikt flera (alla?) kärnkraftverk stängas. Oljeförbrukningen skulle öka snabbt genom att det finns många pannor installerade för el och olja. Även industrin skulle kunna ställa om för sitt värmebehov. Den elberoende industrin skulle dock få väsentliga svårigheter.

Med tanke på utgångsläget 1973 är det kanske inte så förvånansvärt att modellen ger goda förutsägelser. I själva verket har debatten och motsägelsefulla politiska beslut sannolikt tagit ut varandra och på så sätt medfört att prognosen blivit bättre än vad som annars varit fallet. Vi accepterar t.v. att modellen är användbar och att de viktigaste parametrarna i respektive delsystem finns bland följande:

Marknad:

Pris
Tillgång på energiprodukter
Tillgång till organisation, som kan sälja och installera anläggningar
Information om de alternativ som står tillbuds

Politik:

Skattesatser
Tillståndsgivning och förbud
Bidrag i olika former
Forsknings- och utvecklingsresurser

Socialt:

Låg driftskostnad
Hög driftsäkerhet
Möjlighet att själv kunna kontrollera och sköta sin anläggning
Information och förståelse för tekniken
Bekanta som vet hur tekniken fungerar
Krav på, eller möjlighet att själv göra en arbetsinsats

Teknik:

Lösningar som ger låg produktionskostnad
Anläggningars livslängd
Krav på infrastrukturen
Investeringsbehov
Risker
Miljöpåverkan

Kulturella förutsättningar:

Oro för olyckskonsekvenser
Oro för miljökonsekvenser
Inställning till exporterande länder (tillfälligt?)
Synen på små-/storskaliga anläggningar

Infrastruktur:

Befintliga anläggningar och distributionssystem
Investeringskostnader

Genom att väga samman slutsatser av ovanstående faktorer kan vi bygga upp sannolika scenarier för kommande energianvändning. Översikten från 1973 och framåt tyder på att pris, låga produktionskostnader och infrastruktur väger tyngst under förutsättning att det finns alternativ. Vid bedömning av framtida risker räcker detta långt. Som påpekats tidigare är det svårt att förutskicka händelser, men enklare att identifiera trender. Betydelsen av en modell, som den ovanstående, ligger i att vi kan förbättra vår beredskap och utbildning. Vi stärker för-

mågan att förebygga och avhjälpa händelser när de inträffar. För att komma längre måste vi gå djupare, vilket vi skall göra längre fram. Vi hävdar att modellen ger relevant information om man använder den som skisserats. Vi måste dock korrigera scenarierna, när verkligheten förändras.

Låt oss avslutningsvis se på riksdagsbeslut under 1992 och spekulera litet om vad de kan få för följder.

- Etanol har (tillfälligt?) befriats från bensin och koldioxidskatt (1991/92:6)
- Gränsen för energiskatt på vindkraft höjdes till 500kw (d:o)
- Den svenska elmarknaden öppnas för konkurrens och ansluts via kabel till kontinenten (prop. 1991/92:14)
- Koldioxidskatten höjs, samtidigt höjs elskatten (1991/92:30)
- Statens kärnbränslenämnd läggs ner (1991/92:22)
- SOU 1992:90 föreslår högre koldioxidskatt och höjda investeringsbidrag för biobränslen

Förändrar dessa beslut/förslag huvuddragen i vårt scenario? Knappast på någon väsentlig punkt. Det politiska styrsystemet strävar efter att reducera de fossila bränslena. Det är också nödvändigt med höga skattesatser om detta skall vara möjligt. Ren marknadsprissättning utan skatter skulle leda till att olja och kol helt tog över marknaden. Skatteförändringen för vindkraft öppnar möjligheten att bygga medelstora kraftverk med ungefär samma resultat som i Danmark. Där svarar vindkraften för c:a 3% av elgenereringen, i Sverige endast delar av promille. Hittills har vindkraften byggts ut genom statliga stöd, vilka f.n. är under debatt (59).

Av besluten ovan får sannolikt anslutningen till den kontinentala marknaden störst betydelse. Kraftbolagen kommer att leverera till de kunder som betalar mest. De finns idag på kontinenten. För att inte brist skall uppstå i Sverige måste då priserna höjas. Utbytet mellan länderna kommer emellertid att minska behovet av reservkapacitet i varje land. Det finns f.n. överkapacitet i alla länder för att möta toppbelastningar. Effektivare utnyttjande av den samlade kapaciteten i Europa medför att beslut om nyinvesteringar kan skjutas upp en tid. På kort sikt påverkas scenariot genom att el blir dyrare och mer attraktiv att ersätta med andra energiformer. Det stora problemet uppstår genom att alternativen är otydliga. Riksdagen pekar ut biobränsle. Det fordrar en utbyggd infrastruktur, i varje fall för lokalt/individuellt bruk. Dessutom kan vi förutse en växande konkurrens mellan skogsindustrin och energiförbrukarna om råvaran. Gasolen, som skulle kunna ha blivit ett alternativ för industri och privatbruk, har förlorat sin position med de högre skattesatserna. Vårt scenario står således fast vid ett högt elberoende för lång tid framåt med olja, gas, kol och biobränslen som viktiga stöd. För fjärrvärmeproduktion kommer också avfallsförbränning att öka i betydelse.

Hushållens agerande

Av de tre styrsystemen är det sociala mest svårfångat. Det finns många undersökningar med teknisk eller ekonomisk inriktning, men få av hushållens agerande. Referens 1 redovisar en sådan studie. Från den hämtar vi uppgifter och slutsatser i det följande.

Hushållen svarar för 30-35 % av den direkta energianvändningen. De utgör alltså en väsentlig aktörsgrupp. Det visade sig att hushållen reagerade mycket tidigt på energikrisernas verkningar, särskilt hushåll i småhus.

Studien urskiljer fem kategorier inom gruppen

- penningsparare
- oljesparare
- komfortsökare
- kontrollanter
- mångsysslare

Kategorin "kontrollanter" ser energisparande som något gott i sig, medan mångsysslarna har flera motiv för sitt agerande. Övriga framgår av namnen.

Hushållen agerar genom att ändra beteende, utföra kompletterande installationer i värmesystemet t.ex. elpatron eller termostater, byta värmekälla. Det visar sig, som man kunde vänta, att boendeform spelar en viktig roll. Mer överraskande är att även uppvärmningsform, inställning till kärnkraft och systemutformning har betydelse. För att förstå de olika kategoriernas handlingssätt i psykologiska termer finner man att

- *homeostatiska modeller* som framhåller att människan vill undvika problem

- *motivationsteori* som trycker på att människans motiv att uppnå en fördel

på ett rimligt sätt förklarar handlandet. Däremot kritiserar man den generella beslutsteorin som utgår från att människan handlar rationellt. Beslutsteorin förutsätter ofta att beslutsfattaren tar hänsyn till ett beslut i taget. Det gäller inte för hushållens energibeslut. Vidare har hushåll som sparar energi skilda mål och motiv. Resonemanget leder till slutsatsen att det sociala styrsystemet har en självständig funktion och inte fungerar som en reflex av marknad och politiska beslut.

När det gäller framtiden kommer studien till följande resultat.

- Hushållen har mentalt valt bort oljan som energikälla för uppvärmning

- Synen på Sveriges energiframtid påverkar önskemålen om uppvärmningsanläggning

- Värmepumpen har en opinionsmässig förankring

- Låg driftskostnad, hög driftsäkerhet, möjlighet att själv kunna kontrollera och sköta sin anläggning, gäller generellt som viktiga krav på uppvärmningsanläggningen

- Den pågående elkonverteringen (1986) sker främst genom kompletteringar och inte byten. Det ger stort handlingsutrymme för ny energiteknik

- Höga investeringskostnader och osäkerhet i fråga om ny teknik hämmar införandet i många fall

- Graden av arbetsinsats spelar stor roll. Den kan dock vara positiv eller negativ, vilket betyder mycket beträffande vedeldning. Vissa människor arbetar gärna själva och ser då fördelar med ved, medan andra inte anser sig ha tid och därmed prioriterar bort veden.

- Infrastrukturen har betydelse för vissa energislag t.ex. ved.

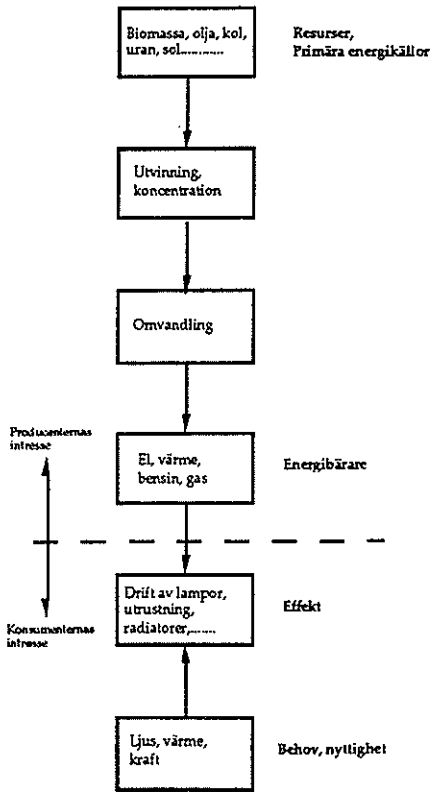
Energi – exempel

Inledning

Det faller sig naturligt att välja energi, för att exemplifiera och studera utvecklingsmodeller och riskfrågor. Energianvändning genomsyrar all mänsklig verksamhet. Energi är nära förknippad med höga temperaturer och därmed länkad till brandfara. I det följande går vi igenom energislag, som utnyttjas i det moderna samhället och försöka bedöma den framtida utvecklingen. För varje energislag gör vi en riskbeskrivning. Det har inte varit möjligt inom ramen för studien att gå lika djupt i samtliga fall. Av flera skäl gör vi den utförligaste analysen för väte som energibärare.

För att i görligaste mån förtydliga redogörelserna har de försetts med flödesbeskrivningar. De avser främst att ge en uppfattning av de karakteristiska dragen för respektive energislag. Flödena kan sägas vara specifikationer av följande allmänna schema.

Fig. 6



Som framgår av bilden har intresseområdena delat sig ungefär där energibäraren levereras. Litet tillspetsat kan man säga att energiföretagen ägnat sig åt att sälja kilowattimmar, medan konsumenterna köpt ljus, värme, förflyttning o.s.v. Det synsättet har även präglat synen på risker. På senare tid har, med inspiration från USA, en förändring börjat skönjas.

En ny term, balansprincipen, sprider sig. Den innebär i korthet att leverantör och konsument, båda betraktas som resurser i systemet, vilket i sin tur ses som en helhet (49). Bakgrunden är framför allt ekonomisk, men har också följder för riskhanteringen. Att en kedja inte är starkare än sin svagaste länk, gäller i högsta grad på energiområdet. Gas kan ju utlösa bränder oavsett var den finns i kedjan. Dålig skötsel av apparater är farlig både i konsument- och producentledet.

Läge och prognoser – 1992

Uppgifterna om tillförsel och användning av energi har hämtats från (50).

1991 tillfördes i Sverige 442 Twh fördelat enligt tabellen

Tab 1

	Twh
Råolja	188
Naturgas	7
Kol	28
Biobränslen, torv m m	71
Vattenkraft	64
Kärnkraft	77
Spillvärme m m	7
	442

Den slutliga användningen uppgick till 370 Twh. Skillnaden mellan tillförsel och användning består av spill och utrikes användning.

Tab 2

	Twh
Oljeprodukter, naturgas	141
Kol, koks	15
Biobränslen, torv m m	55
Fjärrvärme	37
El	122
	370

Användarna grupperades enligt tabellen

Tab 3

Bostäder, service m m	152
Industri	135
Inrikes transporter	83
	370

1970 uppgick tillförseln till 457 Twh. Totalt sett håller Sverige således en konstant nivå. Variationerna hänger bland annat ihop med temperaturskillnader mellan åren. Inom ramen har det skett stora förändringar.

Oljan har minskat från 70 % till 43 %. Elproduktionen har fördubblats genom kärnkraften. Kol och biobränslen har ökat och naturgasen börjat komma in i systemet.

Inom användargruppen har industri, bostäder och förluster minskat, sannolikt till följd av effektivisering och i någon mån utslagning av energiintensiv industri. Transportsektorn ökar sin förbrukning kontinuerligt.

Det är värt att notera att en omställning till miljövänligare energikällor knappt har startat. De traditionella formerna vatten och biomassa ökar, men endast i mindre omfattning ännu. Sol, vind m fl har inte nått mätbara nivåer.

Naturgas, som ofta nämnts som övergångsenergislag ger fortfarande endast mindre bidrag till försörjningen.

NUTEKs prognoser för 1992-1994 visar i stort sett samma bild som förut. Förändringarna är små. Biobränsen och oljor förväntas öka, medan övriga energikällor ligger kvar på samma nivå. Här måste vi lägga till, att sedan prognosen blev klar har konjunkturutsikterna försämrats, kronan släppts fri och bensinskatten höjts. Samtliga faktorer påverkar oljeförbrukningen på kort sikt. En återhämtning av den svenska ekonomin kan komma senare än väntat, vilket gör prognosen osäkrare.

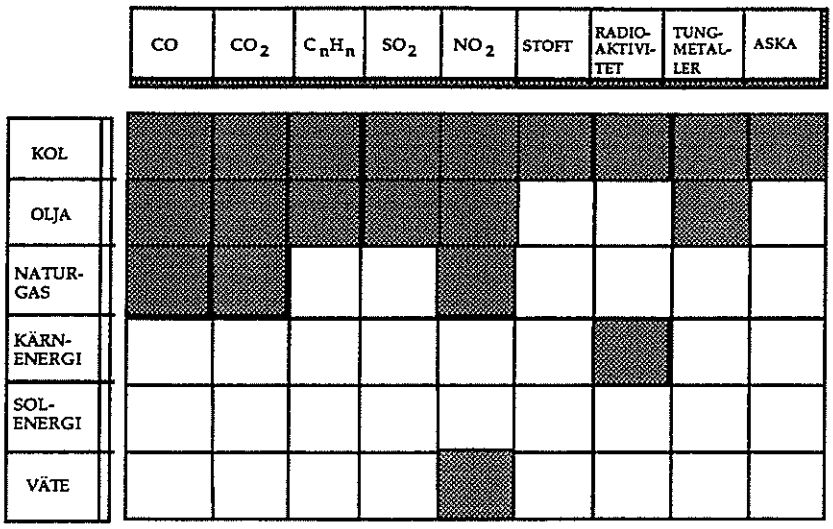
Med denna allmänna bakgrund skall vi gå närmare in och granska energikällor och energibärare.

Fossila bränslen

Allmänt

Fossila bränslen utgör den dominerande delen av energiförsörjningen i världen. Förbränning av kol, olja och naturgas svarar för 85 - 90 % av den sammanlagda tillförseln (10). Miljöförstöringen hänger nära samman med förbrukningen av fossila bränslen. Försurningen och växthuseffekten tillhör numera dagordningen i varje seriös diskussion om den framtida energiförsörjningen. En jämförelse mellan olika energislags utsläpp framgår av figuren.

Fig. 7



Skadliga emissioner från olika energisystem. (6)

De fossila bränslenas popularitet beror bl. a. på att

- de finns spridda över hela världen i någon form
- kunskapen om utvinning och användning är djup och spridd
- teknisk kompetens finns överallt
- infrastrukturen är väl utbyggd
- de är förhållandevis billiga
- de är hittills de bäst anpassade för transportväsendet
- de kan lätt transformeras till olika tillstånd (fast, flytande, gas)
- de är utmärkta råvarukällor för kemikalier och plaster

Den stora förbrukningen sker i den industrialiserade världen. U-länderna med 2/3 av befolkningen svarar endast för 20 %. Ingen annan energisektor kan tävla med de fossila bränslenas fördelar. Förbrukningen kommer troligen att öka kraftigt i U-världen. Detta leder till en ohållbar situation, om utsläppen bibehålls på nuvarande nivå per kwh. Statens Energiverk har beräknat att kolreserverna räcker i 250, olje-

reserverna i 35 och naturgasen i 60 år med nuvarande förbrukningstakt. Andra beräkningar säger 1500, 60 och 120 år (10). Skillnaderna hänger ihop med hur man uppskattar oupptäckta reserver. Här bör vi tillägga att reserverna aldrig tar slut i egentlig mening. I stället stiger priserna i takt med att utvinningen blir allt dyrare. Vi kan jämföra förhållandena med malmbrytning. Gruvor läggs inte ner för att allt är slut, utan för att kostnaderna för fortsatt brytning överstiger intäkterna.

Energisystemet ändras långsamt. Investeringar i anläggningar, infrastruktur och kompetens är astronomiska och tar lång tid att skriva av. Tunga skäl talar alltså för att stora kvantiteter fossila bränslen förbrukas även framgent.

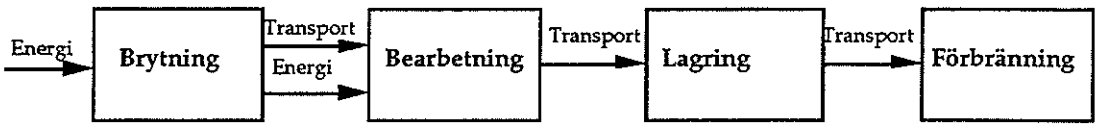
Risker och hantering av dem är förhållandevis väl kända för fossila bränslen. Vi behandlar dem därför relativt kortfattat.

Kol

Kol är det vanligast förekommande fossila bränslet. Man uppskattar att världens reserver av kol uppgår till 10 gånger reserverna av olja och naturgas tillsammans (10). Kol innehåller den största mängden föroreningar.

Vi visar en förenklad bild av kolets väg.

Fig. 8



Problemen med kol hänför sig främst till långsiktiga miljöstörningar, vilket faller utanför ramen för denna studie. Vi skall därför begränsa avsnittet om kol till några påpekanden.

Tillgången och priset på kol gör det till ett realistiskt alternativ inför den planerade svenska kärnkraftavvecklingen. Regeringen försöker bromsa utvecklingen bl. a. genom miljöavgifter och skatter.

En ökning av kolanvändningen medför även mer transportarbete.

Giftiga substanser i kol kan läcka ut vid torrförvaring.

På flera håll i världen utvecklar man ny och effektivare teknik för kolanvändning. Även Sverige deltar i detta. ABB-Carbon har utvecklat en PFBC-panna (pressurized fluidized-bed combustor). Ett mycket intressant steg innebär den s.k. "combined-cycle"-tekniken. Där förgasar man kolet och låter gaserna driva en gasturbin, varefter de utnyttjas antingen för ånggenerering till en ångturbin eller uppvärmning av het-

vatten. Fördelarna ligger i att man, dels utnyttjar energin betydligt effektivare, dels lättare tar hand om föroreningarna främst svavel.

Som ett mellansteg över till mer miljövänliga energikällor har en holländsk grupp föreslagit att förgasat kol skulle användas för framställning av väte. Det senare skulle sedan transporteras till användningsplatsen. I förgasningsanläggningen skulle man ta hand om restprodukterna och återföra dem till exempelvis uttömda naturgasreservoirer. Angående vätgas se nedan.

Gemensamt för de nya lösningarna är att de innebär en höjning av teknologinivån och därmed komplexiteten i anläggningarna. Förutom kostnadsaspekten förstärks problemen med stora automatiserade system. En fördjupad genomgång av dem finns i vätgasscenariot nedan.

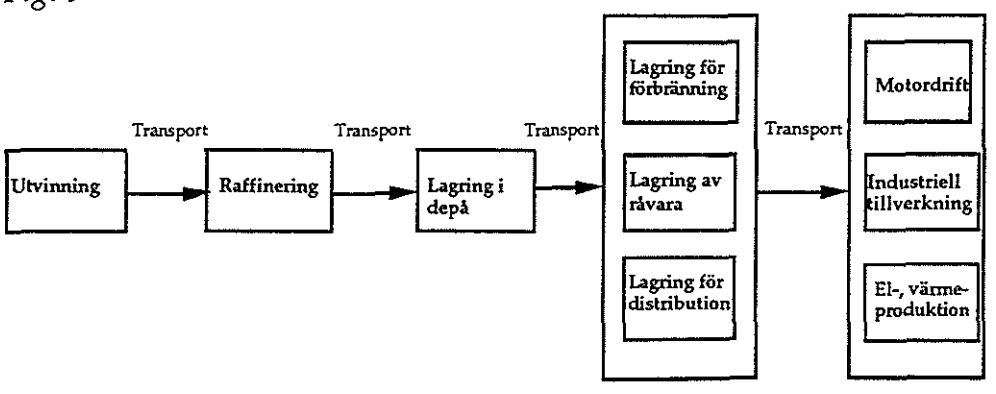
Kol kan också transformeras till olja eller gas vilka behandlas nedan.

Olja

Olja är världens största handelsvara. Den har mycket stor betydelse för de ekonomiska funktionerna i världen, vilket framgått av de effekter som oljekriserna inneburit. Oljan svarar direkt och indirekt för en stor del av de risker, som förekommer i samhället. Olja och oljeprodukter klassas som farligt gods (11). Att ta riskhänsyn i samhällsutvecklingen, utan att ta med oljan utgör en kraftig begränsning.

Vi visar en översikt över de vanligaste flödena i oljehanteringen

Fig. 9



Utvinning och raffinering

Olja finns på många ställen. Större utvinningsbara fyndigheter är emellertid koncentrerade. Trots att källorna ofta återfinns i oroliga delar av världen har försörjningen varit stabil över åren. Det kan tolkas som att det i grunden existerar en överkapacitet och en viss elasticitet i efterfrågan. Sammanbrottet i Sovjetunionen har medfört sjunkande produktion hos världens, efter Saudiarabien, störste producent (62). Ryssland släpper av det skälet in utländska ägare i oljeindustrin.

Eftersom de nya intressenterna är internationella oljebolag (Shell, Exxon m.fl.) leder det till en koncentration. På lång sikt får det följder för prisutvecklingen.

Raffinaderierna ligger spridda i de flesta länder. Transporterna sker i huvudsak via pipelines och fartyg. Många tankerolyckor i det förflutna (Amoco Cadiz, Torrey Canyon, Exxon Valdes.....) antyder att det vore bättre att raffinera oljan nära utvinningsplatsen. Riskerna med att hantera raffinerade produkter (bensin, diesel, gas, nafta.....) torde dock vara betydligt större. De flesta av produkterna är brännbara eller explosiva. Före raffinering lagras råvaran i cisterner. Eftersom de lätta kolvätena i oljan är flyktiga bildas explosiva gaser, om man inte förebygger det speciellt. Cisternerna förses därför med flytande tak.

Lagring i depå

Från raffinaderierna transporteras produkterna vanligen till depåer i avvaktan på vidare distribution. Sådana finns t.ex. i Gävle (56). Depåerna är i sig kvalificerade riskobjekt. Eftersom alla produkter forslas till och från depåerna utgör transporterna sammantaget en betydligt större risk-faktor.

Lagring före användning

Framställning och depålagring av oljeprodukter handlar om stora volymer. Det medför behov av lagring före den slutliga användningen. De mest förekommande är tankar för oljepannor och bensinstationer. Även industrin lagrar sina råvaror före processen.

Användning

Flytande produkter används i allmänhet i en kontinuerlig process, vilket ibland fordrar lagring i små kvantiteter. Ett exempel på det är den vanliga bensintanken i bilar.

Oljeprodukter utgör råvara för en stor del av alla konsumentprodukter t.ex. plaster, syntetiska fibrer o.s.v.

Förbränning av olja för el- eller värmeproduktion har minskat i Sverige efter oljekriserna. Framför allt de tyngre oljorna, som varit mest miljöstörande. Ersättningen för olja har främst varit el genererad i kärnkraftverk. Till viss del har även värmepumpar, biomassa och gasol bidragit.

Svårast att ersätta har olja (bensin, diesel) varit i transportsektorn. Drivmedlens flexibilitet tillsammans med andra krav har försvårat för alternativen att tränga igenom. Runt om i världen pågår emellertid aktivitet för att förändra situationen. Det framstår som desto mer angeläget i betraktande av prognoserna för fordonsparken i det forna östblocket och den icke-industrialiserade världen.

Problemen i transportsektorn måste angripas på flera plan. På alla följande punkter pågår försök. Troligen måste samtliga påverkas om utsläppsnivån skall kunna minskas eller åtminstone förbli konstant. Helhetsbegreppet kommer sällan till sin rätt så väl som i detta sammanhang. Kommentarerna refererar till (10).

- Effektivare energianvändning i fordon

  Efter oljekrisen 1973 började alla tillverkare arbeta med att minska bränsleförbrukningen. Genom motorförbättringar, lättare fordon, minskat luftmotstånd har man bringat ner förbrukningen med 30% i Europa och 50% i USA.

- Utsläppsbegränsning

  Bättre förbränningsteknik och katalysatorer har drastiskt skurit ner utsläpp utom koldioxid.

- Alternativa drivmedel

  Gas och alkohol har prövats i stor skala. I Brasilien som gått längst såldes som mest 90% av nya bilar med alkoholdrift. Metanol och olika typer av hybridbilar prövas också. I samband med oljeprisfallet i mitten av 1980-talet minskade dock verksamheten markant.

- Ökning av antalet människor/godsenheter per fordonskm

  Höjda bensinpriser har ökat intresset för samåkning och bilpooler. Försök både i Sverige och på andra håll har rönt visst intresse. Fördelen med metoden är att man kan behålla en del av privatbilens flexibilitet och samtidigt erhålla en del av kollektivtrafikens effektivitet.

- Jämnare trafikrytm

  Det mest avancerade försöket att styra trafiken utförs inom Prometheus-projektet som drivs inom EG. Svenska biltillverkare deltar också. I bl.a. Berlin utförs nu praktiska prov med 900 bilar kopplade till en centraldator som hela tiden dirigerar trafiken optimalt.

- Utökad kollektivtrafik

  Kollektivtrafiken är en angelägenhet främst för större städer. I glesbefolkade områden kan den bara bli ett komplement. Det är ingen slump att länder som Holland och Japan kommit lång och har en stor andel kollektivtrafik. Konstruktionerna tar sig ibland fantasieggande former som slingstyrda vagnar, som närmast liknar dem man kan se på nöjesfält.

- Samhällsplanering

  Våra samhällen är inte från början planerade för biltrafik. Städernas tillväxt har dessutom skett tämligen okontrollerat och med förutsättningen att de flesta tar sig fram med bil. Så är det numera normalt att man i västvärlden kör bil till arbetsplatsen eller köpcentrum. För att minska trafiken experimenterar man med en planering i zoner, som skall minimera avstånden mellan bostadsområden och arbetsplatser. Vidare försöker man på flera håll att minska antalet parkeringsplatser i centrum och installera snabba kollektivtransporter från ytterområden till centrum.

De här glimtarna kan ge intryck av att problemen med transporterna är på väg att lösas. Det är en alltför positiv tolkning. Det mesta är som sagts försök. Dessutom växer bilismen fortfarande varje år. Åtgärderna kan dock tolkas som att probleminsikten finns och att man åtminstone på en del håll har börjat göra något åt saken.

Oljans framtid

Oljan är och förblir en av mänsklighetens viktigaste råvaror. Den är så väl integrerad med det moderna samhället, att det är svårt att förstå hur det skulle se ut utan den. Det kommer att ta lång tid innan förbrukningen minskar drastiskt. Miljöhänsynen kommer att göra en del. Den radikala minskningen får vi knappast se förrän priserna börjar stiga till följd av dyrare utvinning.

Risk och säkerhet

Hantering av olja och oljeprodukter tillhör de mest analyserade av alla. Hanteringen innebär risker i alla led. Av rent logiska skäl finns det grund för att påstå att riskerna ökar ju längre fram i hanteringskedjan man kommer. Vi skiljer på tre risksituationer

- bearbetning och förvaring
- lastning och lossning
- transporter

Bearbetning och förvaring utförs i speciella anläggningar med höga säkerhetskrav. Sårbarheten är stor genom att volymerna är stora. Dessutom är många anläggningar (bensinstationer, oljetankar) lätt tillgängliga för eventuella angrepp. I dessa led vågar vi dock hävda att sannolikheten för en olycka är liten medan konsekvenserna kan bli mycket stora om den inträffar.

Vid lastning och lossning ökar risken för mänskliga misstag. Materiel, utrustning och mänskliga aktiviteter skall fungera felfritt för att inte läckage skall uppstå.

Vi har redan nämnt omfattningen av transporterna. Det är sålunda fullt naturligt att antalet olyckor med transporter av farligt gods i hög grad gäller oljeprodukter.

Av 745 kemikalieolyckor 1990 i Sverige rörde 433 oljeprodukter. Bland de övriga fanns flera produkter tillverkade av fossila bränslen, en del sannolikt olja. I statistiken undantog man dessutom små volymer (11). En fjärdedel av olyckorna sker vid transport.

Naturgas

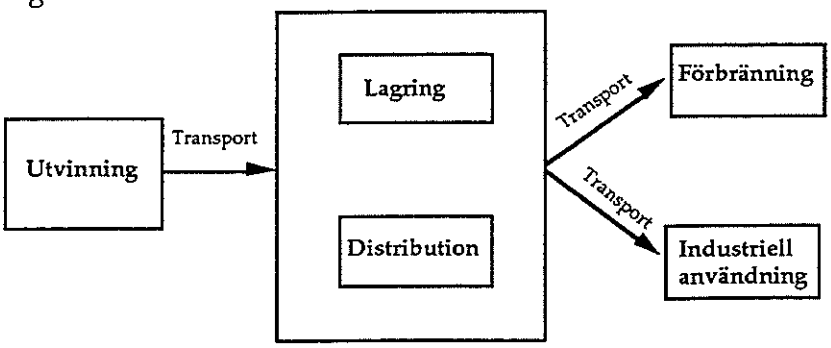
Bland de fossila bränslena har naturgasen ansetts som det bästa för framtiden. Naturgas ger betydligt mindre miljöskadliga restprodukter än olja och kol. Naturgasens andel av energimarknaden växte snabbt från mitten av 1960-talet framtill c:a 1978. Därefter skedde en påtaglig stagnation. Enligt Radetzki (9) beror detta främst på prisutvecklingen. Sedan oljekri-serna under 1970-talet har priset på naturgas relaterats till priset på alternativa bränslen. Det har hämmat naturgasens expansion.

Tillgångarna på naturgas är stora. Dessutom byggdes infrastrukturen ut i förväntan om en växande marknad under 1980-talet. Eftersom denna inte kom till stånd, finns fortfarande outnyttjade resurser. Ryssland med mycket stora resever utgör f.n. en osäker faktor till följd av samhällsproblemen. Rimligen har man behov av utländsk valuta. Det bör innebära att man anstränger sig att öka exporten av gas.

Beskrivning/tillämpning

Naturgasens väg visas i översikt

Fig. 10



Utvinning

Naturgas återfinns tillsammans med olja eller i gasfickor under tryck. Den består i huvudsak av metan (CH_4). Sammansättningen varierar mellan olika fyndigheter i världen. Vanligen ingår också t.ex. kväve, koldioxid, ädelgaser och svavelväte. Beroende på sammansättningen, särskilt halten av svavelväte genomgår gasen en separeringsprocess före distribution.

Lagring, transport och distribution

Gasen transporteras antingen via rörledningar eller i flytande form i tankfartyg.

Lagring sker i mindre utsträckning. Flera metoder för lagring i större skala prövas bl. a. under jord.

Användning

Gasen används som bränsle i industrier och hushåll eller som råvara i olika industriella processer.

Framtidsbedömning

Trenden att gasanvändningen stagnerar har många bedömt skall fortsätta till sekelskiftet. Radetzki nyanserar dock prognosen. Han baserar det bl.a. på följande faktorer.

1 Det finns en stor outnyttjad leveranskapacitet
2 Konkurrens och effektivitet kommer att prioriteras också på energiområdet
3 EG strävar efter att samordna det befintliga rörnätets distributionskapacitet (common carriage)
4 Miljöaspekterna får allt större tyngd
5 Teknisk utveckling gör gas till en mer attraktiv primär energikälla vid elproduktion.

Risk och säkerhet

I Sverige distribueras naturgas huvudsakligen via rörledning. Den tidigare planerna på en stor utbyggnad har hittills inte kommit till stånd.

Gasen innebär i första hand en brandfara. Den är emellertid lätt, varför läckor i t.ex. röranslutningar utomhus normalt inte skall innebära någon stor risk. Läckor inomhus medför självfallet större brandrisker. Explosionsrisk finns vid transporter av kondenserad gas. Sannolikheten för de storolycksscenarios, som konstruerats, bedöms dock som mycket liten.

Ett omfattande rörsystem är sårbart och kan lätt utsättas för sabotage.

Gasol

Gasol används i hushåll och industri. Ur risksynvinkel påminner gasol om väte som behandlas utförligt längre fram. Uppgifter i den följande beskrivningen har huvudsakligen hämtats från (58) och (3).

Genom att gasol funnits länge på marknaden har erfarenheten hunnit omsättas i ett omfattande regelverk. Flera lagar t.ex

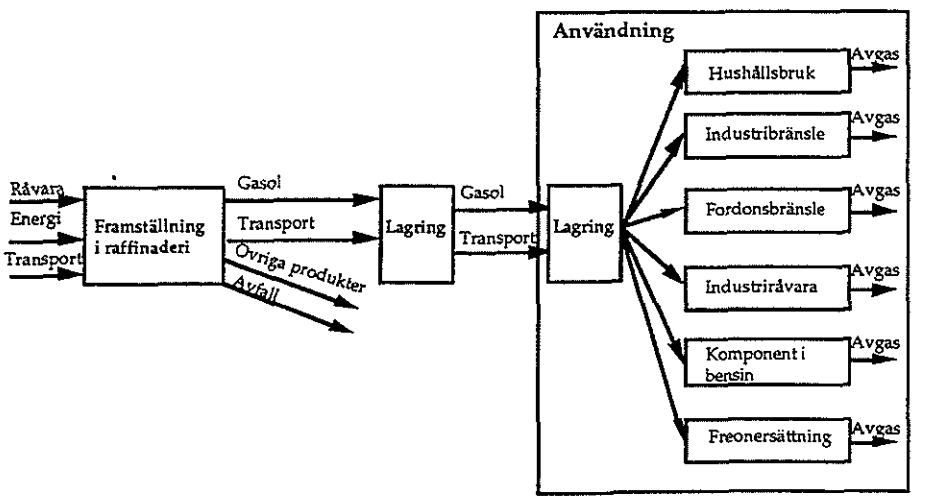
- lagen om explosiva och brandfarliga varor
- lagen om transport av farligt gods
- arbetsmiljölagen
- räddningstjänstlagen
- plan- och bygglagen

och tillämpningsföreskrifter, behandlar gasol. Dessutom krävs tillstånd och en lång procedur för att få uppföra en gasolanläggning. Säkerheten är väl tillgodosedd vad beträffar regelverket. I och med att många människor använder gasol kan man med visst fog ifrågasätta tillämpningen. Därom talar rapporter i tidningar om bränder t.ex. i husvagnar.

Beskrivning/tillämpningar

Följande principskiss visar gasolens väg. Tekniken behandlas summariskt.

Fig. 11



Framställning

Gasol är en beteckning för en blandning av kolvätena propan och butan. Som gasol räknar vi här in även ren butan och propan. En stor del av gasolen framställs i raffinaderier vid s.k. krackning. Som råvara förekommer främst

- naturgas
- råolja
- raffinaderigas.

Lagring och transport

Lagring har här delats upp i två steg. Efter framställning lagras gasolen i cisterner innan den distribueras. En stor volym används i raffinaderierna, som bränsle eller tillsats till motorbränsle.

Transporter till andra förbrukare går med tåg eller tankbil. Under transporten är gasolen kondenserad d.v.s. i flytande form under tryck. Lastning och lossning sker i speciella pump-/ledningssystem.

Hos större förbrukare lagras gasolen i cisterner som normalt rymmer 4 - 300 m^3. Cisternerna tillverkas enligt särskilda normer för tryckkärl (cisternnormer III).

Gasol i små volymer lagras i gasflaskor eller mindre behållare av metall eller plast. Det senare gäller t.ex. butangas i små cigarettändare.

Användning

Som framgår av principskissen utgör gasol bränsle, råvara, tillsatsmedel eller drivgas. Av detta följer att spridningen är mycket bred och att volymen skiftar.

Gasol i framtiden

Gasolen har fördelar och nackdelar i likhet med andra fossila bränslen. Gasformiga bränslen är idealiska vid förbränning. De kan med förhållandvis enkla medel blandas med luft så att förbränningen blir nära nog fullständig. Bränsletillförseln är lätt att styra efter behovet. Gasol ger också högre verkningsgrad än naturgas. Ekonomin påverkas positivt av bl.a.

- låg sotbildning
- minimalt underhåll av brännare
- högre reglerbarhet och färre stillestånd.

Gasol har ofta lyfts fram som ett miljövänligt alternativ. Vid fullständig förbränning bildas endast koldioxid (CO_2) och kväveoxider (NO_x) i större mängder. Utsläpp av svavel, tungmetaller o.dyl. blir mycket små. Jämfört med olja ligger värdena lägre för samtliga utsläpp av skadliga ämnen. Till detta bör läggas att bränsletransporterna normalt blir fler vid gasoleldning än oljeeldning, vilket påverkar utsläppsmängden.

Vilket resultat ger vår drivkraftsmodell?

Marknad

Borträknat den petrokemiska industrin förbrukades c:a 300 000 ton gasol i Sverige 1989.

Priserna på gasol sjönk i förhållande till andra bränslen under 1980-talet,vilket medförde en utökad användning. 1991 infördes nya skatter som sedan skärpts under 1992. (31 nr16). Bortsett från skatter låg gasol på samma kostnadsnivå som eldningsolja 1, 1989 d.v.s. i intervallet 10-15 öre/kwh. Skatterna speciellt, den nya koldioxidskatten, har väsentligt förändrat den förut gynnsamma prisbilden. Ett exempel: Enligt en utredning som genomfördes i Gävle i slutet av 1980-talet, var gasolalternativet bäst med stor mariginal (56).

Efterfrågan av gasbaserade energisystem för småhus har förväntats stiga. Om det sker kommer konkurrensen att öka, vilket förväntas resultera i effektiva och miljövänliga lösningar samt en allt gynnsammare prisbild.

I värmeproduktion med gasol visar kalkyler att kapitalkostnaden blir liten jämfört med bränslekostnaderna, med undantag för villapannor.

Prisförändringar i konsumtionsledet slår alltså igenom omedelbart, vilket ger leverantörer och politiker stora möjligheter att påverka marknadens utveckling.

Tillgången till gasol är god och kommer att vara det under överskådlig tid. Flera råvarualternativ minskar risken för leveransproblem eller häftiga svängningar i världsmarknadspriset.

Leverantörsmarknaden är omfattande.

Gasolen stora spridning medför att information är lätt tillgänglig. Det gäller såväl teknik som användning.

Politik

En gasoldebatt växte under 1980-talet i takt gasolintresset. Den kan karaktäriseras som "intressenternas gräl". Ena sidan talade om ekonomiska och miljömässiga fördelar och andra sidan om brand- och explosionsriskerna. Skattehöjningarna avbröt ökningen av gasolförbrukningen och tills vidare även debatten.

Socialt

Gasol har dåligt rykte bland många människor. Det anförs som ett hinder för större gasolanvändning (58). Orsaken anses vara felaktig eller utebliven information. Inträffade olyckor i hushållsbruk torde också spela in.

Teknik

Utrustning och och material har provats ut under lång tid. Tekniskt sett har man nått en tillfredsställande nivå. Kraven höjs också i takt med att erfarenheterna växer.

Risker se nedan.

Kulturella förutsättningar

Gasol har sannnolikt den mest flexibla användningen av alla jämförbara produkter. Från engångständare till stora värmesystem. Gasolen passar naturligt in i en samhällsomvandling, som närmast liknar ett tumult. Europa lägger ner stora ansträngningar på att utforma den framtida energiförsörjningen. Innan ett nytt mönster klarnar, kan gasolen komma att bli ett viktigt alternativ.

Infrastruktur

Tillverknings-, lagrings- och distributionssystem är väl utbyggda. Det är ingen svårighet att bygga ut verksamheten.

Sammanfattning

Försöker vi väga samman de pådrivande och hämmande krafterna, så finner vi att mycket talar för gasol. Energipolitiken de senaste 10 åren har utmärkts av osäkerhet. Det symboliseras av den intervjuperson, som framhållit att varje framtidssatsning varit en felsatsning och det bästa hade varit att inte göra något alls. Vi förväntar oss att oron växer ju närmre kärnkraftsavvecklingen vi kommer. Det är alltså svårt att förutspå vilka politiska beslut om gasol, som kommer att fattas. Det betyder mycket eftersom politiska beslut ser ut att vara det enda sättet att bromsa en gasolexpansion. Under alla omständigheter kommer gasol att ha en plats i energiförsörjningen under överskådlig tid med beredskap att växa med kort varsel.

Risk och säkerhet

Gasol i gasform bildar brännbara blandningar med luft om halten gasol ligger mellan 2 och 10 %. Vid antändning kan explosion uppstå. Relativt små läckage kan ge upphov till stora volymer brännbar och explosiva gasol-/luftblandningar.

Gasol är i sig inte giftig. Vid ofullständig förbränning bildas koloxid (CO) som är mycket giftig.

Säkerhetskraven på gasolanvändning är höga och det finns ett omfattande utbildningsprogram. Redan det är tecken på riskerna med gasol.

Risken för köldskador vid kontakt med flytande gasol är stor.

Materialkraven på ledningar specificerar krav på motståndskraft mot sprödbrott vid låga temperaturer (-42°). Kraven på slagseghet finns och skärps genom fortsatta utredningar.

Sannolikt bidrar den långa erfarenheten av gasol till att större olyckor sällan förekommer. Rapporterade fall har ofta katastrofala konsekvenser t.ex. 1978 i Los Alfaques i Spanien. Då omkom 102 personer omedelbart och ytterligare ett antal senare på sjukhusen. En olycka som inte medförde några dödsfall inträffade i Sölvesborg 1990. Två gasolvagnar hade vält efter urspårning. Inga läckage upptäcktes. Som orsak till de stora olyckorna, hänvisar utredningarna till "den mänskliga faktorn" eller utrustning med bristfällig säkerhet. Eftersom det finns tillförlitlig säkerhetsteknik måste båda alternativen tillskrivas mänskliga misstag.

För en djupare genomgång av delproblem se "vätesamhället" nedan. Det finns likheter i riskbilden. Givetvis skiljer sig problemen också när vi granskar dem i detalj. Vi nöjer oss med att påpeka det faktum, att väte snabbt ventileras bort, medan gasol genom sin tyngd tränger undan luft och sjunker vid utsläpp.

Torv

Vi tar upp torv bland de fossila bränslena. Det är omdiskuterat, huruvida torv skall anses som fossilt bränsle eller biobränsle. Med tanke på den tid det tar att nybilda torv förefaller det rimligast att betrakta det som fossilt. Tillväxthastigheten är 0,1 – 0,5 mm/år. Befintliga torvmarker i Sverige är mellan några tusen och tiotusen år gamla. Torven bildas genom att växtrester omvandlas av bakterier, svampar o.s.v. i en s.k. humifieringsprocess. Detta till skillnad från kol som uppkommit i en geologisk process under speciella temperatur- och tryckförhållanden. Torven är därför bl. a. användbar som jordförbättringsmedel. Uppgifter och beskrivningar i det följande har främst hämtats från (13).

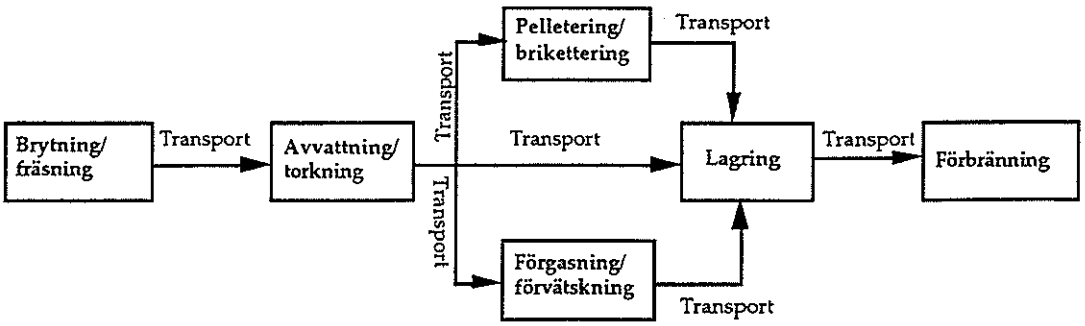
Beskrivning/tillämpning

Torv kan utnyttjas som råvara för framställning av en lång rad produkter t.ex.

- bränsle
- oljeprodukter
- gaser
- metallurgiskt koks
- humussyror
- isolermaterial
- alkohol
- jordförbättringsmedel

Vi tar inte upp samtliga här utan visar en principskiss för torvens användning som bränsle.

Fig. 12



Brytning/fräsning

Torv förekommer i riklig mängd i Sverige. C:a 10% av landets yta täcks av torvmarker (5,4 milj. ha). De fördelar sig med c:a 70 % i norra och 30 % i mellersta och södra Sverige. Teoretiskt skulle torv kunna ersätta all användning av fossila bränslen under flera decennier.

Torven grävs, fräses eller pumpas upp från mossen. Beroende på fortsatt bearbetning kan den malas.

Avvattning/torkning

Torv binder mycket vatten, varför den måste avvattnas före vidare behandling. Vattenhalten varierar i olika tovtäkter. För att minska vattenhalten krävs flera processteg med mekanisk torkning eller självtorkning.

Transport/bearbetning/lagring

Torv är skrymmande i obearbetat skick. Transportkostnaderna får därför betydelse för torvanvändningen. Torv transporteras med bil eller tåg.

Pelletering/brikettering innebär att torven torkas och pressas till mindre stycken. Härvid erhåller man en produkt med mer koncentrerat energiinnehåll än i obearbetad torv. Dessutom lämpar sig pellets/briketter bättre för transporter och lagring.

Om torven omvandlas till gas- eller vätskeform kan den användas på samma sätt som naturgas eller olja.

Förbränning

Tekniken att förbränna torv hänger framför allt ihop med storlek på anläggningen. I större system, t.ex. fjärrvärmeanläggningar, har virvelbäddstekniken blivit dominerande av effektivitets- och miljöskäl. Tekniken inrymmer också möjligheter att utnyttja annat bränsle t.ex. biomassa eller kolpulver. Teknologinivån i dessa system är hög, vilket påverkar kostnadsnivån.

Torvbränsle, främst pellets, lämpar sig för eldning i små anläggningar t.ex. villapannor. Vanligaste förekommande är fastbränslepannor av standardmodell.

För torv i gas- eller flytande form se motsvarande avsnitt ovan.

Framtidsbedömning

I korthet kan vi karaktärisera situationen enligt följande.

Marknad

Torvanvändning har expanderat under 1980-talet med statligt stöd. Flera stora anläggningar finns t.ex. i Uppsala och Eskilstuna.

Sedan stödet tagits bort är torven inte konkurrenskraftig i jämförelse med andra bränslen. Åtminstone gäller detta nyanläggning. Investeringarna har dock en sådan omfattning att den befintliga marknaden kommer att fortleva.

Tillgången på torv är god i Sverige.

Det finns en leverantörsmarknad i Sverige och utomlands.

Politik

Det stora intresset för att utveckla inhemska bränslen under 1980-talet har i början av 90-talet minskat något. I den politiska diskussionen förekommer biobränsle allmänt. Många räknar torven dit.

Osäkerhet i energiförsörjningen kommer att förnya torvens aktualitet. Miljömässigt finns hos torv både positiva och negativa sidor. Torv innehåller små mängder svavel och andra skadliga ämnen t.ex. tungmetaller. Askan kan dock bli svår att hantera vid förbränning i stor skala. I likhet med fossila bränslen bidrar torv till nettoutsläpp av koldioxid.

Socialt

En större torvanvändning tiltalar många av miljö- och sysslsättningsskäl. I detta hänseende skulle torven gynnas av att klassificeras som biomassa.

Torvmossar finns ofta i trakter med arbetsmarknadsproblem. Ett exempel är Sveg. Torvbrytning och förädling ger människor en möjlighet att stanna i sin hembygder.

Teknik

Förbränningstekniken har tagit stora steg framåt på senare år. Den utvecklingen fortsätter, vilket kan leda till större intresse för förgasad torv. Den kostsammaste momentet i förädlingskedjan, torkningen, väntar emellertid ännu på nya lösningar. I det första steget i torkningen ligger torven kvar vid mossen för att lufttorka. Det medför att vädret får betydelse för tillgången.

Det går naturligtvis inte att utesluta att framtida bristsituationer eller miljöskäl, avseende produkter som idag framställs av olja, kan öka torvens betydelse som industriell råvara. En sådan utveckling skulle föra med sig investeringar, som underlättar ett mer generellt bruk av torv.

Kulturella förutsättningar

Kompetensen på området har arbetats upp ånyo efter att ha varit på utdöende under 1960- och 70-talen. FoU insatserna har gett mycket kunskap, som står till buds vid en snabb utbyggnad.

Diskussionerna runt utbruten torvmark har knappast tagit riktig fart. Det finns många förslag om vad marken skall användas till. Ett av de mest tilltalande, landskaps- och miljömässigt, är att återställa den sjö eller våtmark som tidigare täckt marken. Även odling av biomassa har föreslagits. Bristen på naturutrymme i Europa kan höja attraktionskraften i det första förslaget.

Infrastruktur

För småanvändare av torv saknas en väl fungerande infrastruktur. De stora fjärrvärmeanläggningarna och industrin har möjligheter att fylla hela lastbilar för eget bruk.

Sammanfattning

De hämmande krafterna främst kostnaderna och brister i infrastrukturen verkar mot ökad torvanvändning. Uppmärksamheten på koldioxidutsläppen har minskat de förespeglade miljövinsterna. För torven talar tillgången och det positiva i att ha en inhemsk bränsleindustri. Troligen kommer torven att behålla sin relativt framskjutna plats i försörjningen utan att öka på länge. Den viktigaste rollen får torv som mellanform i en övergång till biomassa.

Risk och säkerhet

Torv med 30 - 60 % fukthalt självantänder lätt. Det går att motverka genom speciella åtgärder vid lagring och transport. Torr pulvriserad torv kan i olyckliga fall explodera. Bränder i silos kan vara utomordentligt svårsläckta och innebära risker för räddningspersonal. Ett exempel inträffade i Uppsala där 150 000 m^3 lagrad torv till ett värde av c:a 100 MSEK förstördes i en storbrand. Händelsen ledde till ändrade regler för transport och lagring av torv.

En ökad torvanvändning leder troligen till fler bränder. I synnerhet gäller det om många människor med bristfälliga kunskaper hanterar bränslet.

Kärnenergi

Kärnenergin väcker starka känslor hos både förespråkare och motståndare. Under 1950-talet när den civila användningen av kärnenergi började planeras, höjdes den till skyarna, som lösningen på världens energiproblem. 1990 var 426 kärnreaktorer i drift världen över och 96 under uppförande (enligt IAEA, det internationella kärnenergiorganet (18)). De svarar för en väsentlig andel av elförsörjningen, speciellt i vissa länder som Frankrike, Belgien och Sydkorea, där den är större än 50 %. Även Sverige ligger nära den nivån.

Debatten om kärnenergin handlar framför allt om risk och säkerhet. Den får extra bränsle genom att många kopplar kärnenergi till kärnvapen. Flera bedömare pekar också på att de storskaliga anläggningarna och den farliga hanteringen kräver ett sådant skydd att hela samhällets utformning påverkas. Uppmärksammade demonstrationer av Greenpeace, har påvisat svagheter i övervakningen och avvärjts med brutala medel.

Under kärnenergins korta historia har många olyckor inträffat. De flesta hör hemma inom vapenhanteringen (20). Den 28 mars 1979 på Three Mile Island utanför Harrisburg och 26 april 1986 i Tjernobyl inträffade reaktorhaverier, som fått genomgripande effekter på kärnenergiområdet. I Sverige ledde det första som bekant till en omprövning, som via folkomröstningen 1980 ledde till beslut om avveckling.

De stegrade säkerhetskraven har medfört att kostnaderna för nya reaktorer skjutit i höjden. Antalet nya verk som tagits i drift har också sjunkit väsentligt (10). I spåren av detta har en ekonomisk debatt tagit fart rörande hela kärnenergiekonomin (18, 60, 7). Även om inläggen förs i ekonomiska termer bottnar den ändå i säkerhetsfrågor. De som torgför positiva kalkyler förutsätter att riskerna kan hanteras, medan övriga snarast gör motsatsen. Dessutom bedömer debattörerna vissa frågor på mycket skilda sätt, t ex kostnaderna för skrotning av kärnkraftverk.

Innan vi försöker förutspå kärnenergins framtid skall vi översiktligt redogöra för kärnenergins flöde.

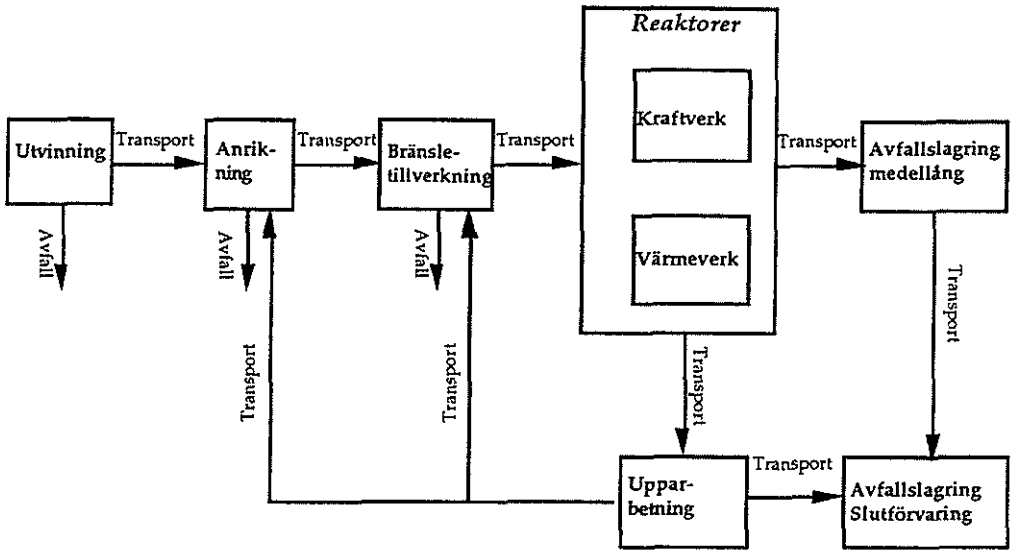
Fissionsprocesser

Beskrivning/tillämpning

Kärnbränslecykeln är utan tvivel den mest välkända processkedjan bland samtliga energislag. Den har diskuterats och analyserats utförligt även av en bred allmänhet. Inför fokomröstningen om kärnkraft spreds otaliga skrifter, som mer eller mindre pedagogiskt beskrev uranets väg från gruvan till slutförvaringen. Teknologinivån vid hantering och användning av kärnbränsle är hög och komplex, vilket inte hindrat många människor från att försöka sätta sig in i den. Den bild

vi visar i figuren är förenklad, men ger ändå ett intryck av komplexitet. Det beror bl.a. på att vi måste ta hänsyn till avfallsproblem i alla led. Flödet har av det skälet förstorats något i jämförelse med andra energislag.

Fig. 13



Utvinning

Uran förekommer relativt vanligt i naturen i små mängder. Den dominerande isotopen U-238 innehåller en liten andel U-235 (0,7%), som utgör bränslet i fissionsprocessen. Uranet bryts f.n. i gruvor där uranhalten är hög. Sverige har i skiffrarna vid Billingen en stor fyndighet, som t.v. lämnats i stort sett orörd. Eftersom halterna av uran är låga, medför uranbrytning stora ingrepp i landskapet. Det har hittills hindrat brytning vid Billingen.

I anslutning till brytningsplatsen utvinns uran ur malmen, så att endast en liten del (<1%) förs vidare till nästa steg i processen. I samband med brytningen uppstår alltså en stor volym restprodukter. Bland annat frigörs gaser t.ex. radon som utgör ett arbetsmiljöproblem (22).

Med nuvarande konsumtion räcker världens uranreserver länge. Som exempel har angetts att uranet vid Billingen skulle räcka för Sveriges tolv kärnkraftverk i 250 år (23). En kraftig utbyggnad med nuvarande reaktorteknik skulle förändra bilden.

Anrikning

Det uran som bryts, håller för låg halt av U-235 för att kunna användas som bränsle. Genom en anrikningsprocess höjs halten till 3 %. Uranisotoperna är kemiskt likvärdiga, varför anrikningen måste ske med fysikaliska operationer, som bygger på att isotoperna väger olika mycket. Traditionellt har man utnyttjat s.k. gasdiffusion som innebär att man filtrerar gas i många steg. På grund av detta fordras mycket stora anläggningar. De ursprungliga anläggningarna byggdes i USA och

Sovjetunionen för framställning av material till kärnvapen. Senare har en ny teknik, centrifugering, tillkommit. 1990 fanns sex anriknings-anläggningar under IAEA's kontroll utanför kärnvapenländerna. Sverige har ingen.

Bränsletillverkning

Av det anrikade uranet, omvandlat till oxid, tillverkas bränslestavar. De är utformade som cylindrar med det nukleära materialet inkapslat i ett tätt hölje.

Bränsle tillverkas i Sverige av ABB Atom i Västerås.

Reaktorer

Vi kan dela in reaktortyperna i kraftverk och värmeverk. Inga värme-verk finns ännu i drift. Vi nämner den typen, eftersom den har förts fram bl. a. av ABB-Atom.

Kraftverken kokar vatten till ånga, som driver ångturbiner och generatorer för elgenerering. Trots denna till synes enkla process är kraftverken utomordentligt komplexa, högteknologiska konstruktioner. Det finns ett fåtal grundkoncept för dagens kraftverk. ABB Atom bygger s.k. lättvattensmodererade kokarreaktorer. Ett gemensamt problem med dagens reaktorer är att de utnyttjar bränslets energiinnehåll dåligt. Endast 0,6% av de tillgängliga uranatomerna klyvs. Resten stannar i avfallet (10). Det innebär ett enormt bränsleslöseri. För att komma åt problemet har ett annat koncept, breeder-reaktorn prövats. Frankrike, det land som satsat mest på kärnteknologi, har byggt och drivit Super-Phénix. För närvarande tycks dock ingen utveckling ske av breedertekniken. Den skiljer sig från traditonella reaktorer genom att den producerar klyvbart plutonium d.v.s. nytt bränsle. Av lätt insedda skäl växer säkerhetsproblemen och därmed kapitalkostnaderna för en kommersiell anläggning.

ABB har utvecklat en ny typ av reaktor, PIUS (f.d. SECURE) som dels kan byggas i mindre skala, dels kännetecknas av en högre säkerhet (21) än äldre typer. Reaktorn har bl. a. föreslagits för värmeverk i större samhällen.

Upparbetning

Endast en liten del av bränslet förbrukas i reaktorn. För att kunna ta tillvara återstoden behöver bränslet upparbetas och särskiljas från avfallsprodukter. I de bortplockade bränslestavarna finns uran och plutonium. De skiljs från varann med kemiska metoder. Uranet anrikas på nytt. Upparbetningsanläggningar kräver stora, komplexa anordningar både för processen och säkerheten. Upparbetning utförs av ekonomiska skäl. Den har kritiserats, eftersom den framställer plutonium, som skulle kunna utnyttjas för tillverkning av vapen. Sverige beslöt därför 1983 att inte upparbeta avfall, utan deponera det direkt (17).

Endast ett fåtal anläggningar finns i drift av vilka de mest kända är La Hague i Frankrike och Sellafield i England. En kärnkraftsutbyggnad i större skala skulle kräva fler anläggningar, om inte bränslebrist skall uppstå.

Avfall

Kärnenergin lämnar flera slags avfall, förbrukat bränsle, restprodukter i processtegen och radioaktivt smittade föremål. Giftigheten anses vara av sådan art att allt måste tas om hand. Avfallet från kraftverken brukar delas in i

- använt bränsle
- driftavfall
- rivningsavfall

Radioaktiviteten ger upphov till en indelning i låg- medel- och högaktivt avfall. För slutförvaring av låg- och medelaktivt avfall har SKB-Svensk Kärnbränslehantering byggt en anläggning, SFR-Slutförvar, för radioaktivt driftavfall. Den frågan anses således som löst.

I stället för att upparbeta använt bränsle mellanlagrar man det i ett speciellt lager, CLAB i Oskarshamn. Där förvaras det i 40 år. Därefter har radioaktiviteten avklingat såpass, att materialet förs vidare till sin slutstation.

Slutförvaring av högaktivt avfall tillhör de mest omdiskuterade inom hela kärnenergiteknologin. Det finns de som anser att frågan är löst. Huruvida ekonomer och politiker är överrepresenterade i den gruppen är inte bekant. Bland forskarna som arbetar med avfallsfrågorna finns en ödmjukhet inför svårighetsgraden. Det högaktiva avfallet skall hållas undan från kontakt med biosfären under mycket lång tid. Ökade insikter har flera gånger förlängt tiden. Nu anser man den vara en million år. Inga vetenskapliga fakta täcker en så lång period. Den svåraste faktorn att förutsäga är den mänskliga aktiviteten under sådana tidsrymder. Hur hindrar man människor att om flera tusen år avsiktligt eller oavsiktligt bryta igenom barriärerna till lagret?

Det pågår en omfattande forskning över hela världen för att hitta lösningar, som är något så när tillförlitliga. Helt säker blir dock inte slutförvaringen förrän radioaktiviteten har avklingat till den naturliga nivån. Ingen anläggning har ännu tagits i bruk i världen (26).

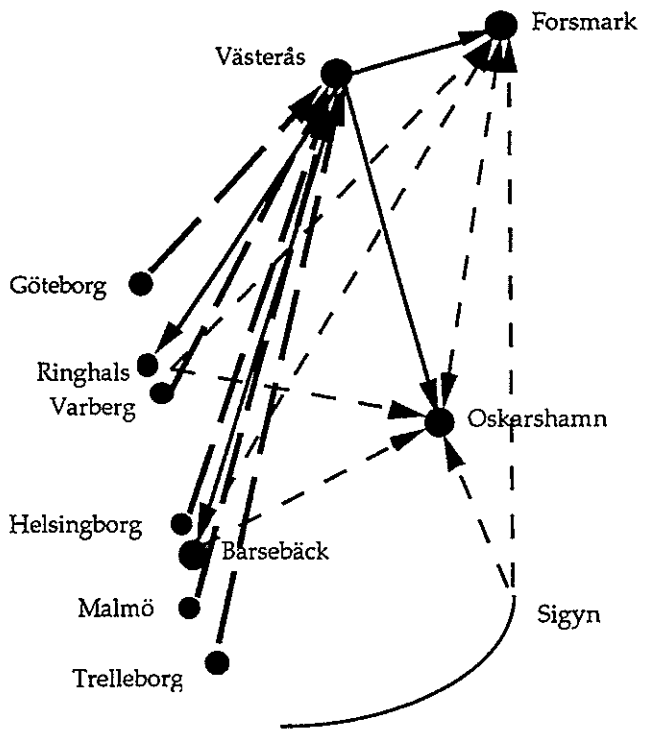
Efter beslutet att inte upparbeta svenskt bränsle ingick Sverige en överenskommelse med Tyskland, som åtog sig att ta hand om det dittills upparbetade svenska bränslet. Sverige tog samtidigt på sig att deponera s.k. MOX-bränsle från Tyskland (MOX – mixed oxide fuel), (17).

Transporter

Som framgår av översiktsbilden transporteras radioaktivt material i flera led. IAEA uppger att 18-38 millioner laster sänds varje år i världen. Radioaktiviteten varierar från försumbara mängder i t.ex. klockor, till stora mängder i kärnbränsle (44). De stora volymerna består av låg- och medelaktivt avfall fr.a. föremål från driftanläggningarna. I Sverige gjuts de före transporten in i betong eller packas i särskilda behållare. Därefter placeras de i stålbehållare under transporten. Transporterna följer bestämda föreskrifter och anses som mycket säkra. Olyckor förekommer dock. IAEA ger exempel på olyckor med vägfordon och flyg som hanterats föredömligt (44).

Bilden visar ankomst- och mottagningsstationer i Sverige.

Fig. 14



Heldragna linjer avser transporter av nya bränsleelement, kraftiga streckade linjer råvara för bränsleelementtillverkning och tunna streckade linjer avfallstransporter. Det förekommer också import av färdiga bränsleelement, som inte är markerad i figuren. Den går direkt till respektive kraftstation. Tidpunkter och vägval för individuella transporter hålls hemliga av säkerhetsskäl (Sveriges Kärnkraftsinspektion, SKI).

Transporter av MOX-bränsle ankommer med specialfartyget Sigyn till CLAB i Oskarshamn. Sigyn forslar även låg- och medelaktivt avfall till SFR i Forsmark.

Kärnenergins framtid

I svenskt perspektiv kan det låta egendomligt att ställa frågan om kärnenergin har någon framtid. Alla vet ju att den skall avvecklas. Det finns även en spridd uppfattning, att den är så dyr att den kommer att självdö utomlands. Låt oss ändå granska de krafter som kan komma att påverka utvecklingen. Som underlag har vi bl. a. utnyttjat (7, 10, 15, 16 och 18).

Marknad

Efterfrågan på el utgör en grundläggande parameter för bedömning av kärnkraftens framtid. Historiskt pekar det mesta på att el är en komplementvara till kapital. Det innebär att höjd kapitalintensitet i ekonomin också drar med sig högre elkonsumtion. Vidare baseras modern teknologi i allt högre utsträckning på el. Köpare av moderna maskiner kräver flexibilitet, styrbarhet och mobilitet. El är den energiform som bäst anpassas till de kraven. En något schablonmässig sammanfattning av de uppfattningar som råder säger att

- U-länderna måste få tillgång till åtminstone en del av det välstånd som finns i I-länderna
- I-länderna måste fortsätta att effektivisera sin produktion för att inte den skall slås ut

Brundtlandrapporten (28) slog fast att utvecklingen måste ledas in i *hållbara* banor.

En central fråga blir om detta är möjligt. Även om energisparande kan skapa utrymme för höjd konsumtion bidrar det troligen bara till en mindre del av behovet. Antagandena ovan tyder på en starkt växande efterfrågan på el under de närmaste decennierna. El kan genereras på många olika sätt, varför villkoren för bränslet också måste vägas in. Lägger vi till behovet av att minska utsläppen av växthusgaser förstärks slutsatsen.

Häfele (10) förespråkar en utbyggnad i världen till 2 TW effekt, vilket skulle fordra c:a 2 500 reaktorer jämfört med dagens c:a 500. I Sverige för fler debattörer fram åsikten att avvecklingsbeslutet kommer att omprövas när tiden är mogen (7, 16).

Inom EG pågår ansträngningar att skapa en gemensam marknad för el. Sverige förbereder sig för att träda in i den, genom Sydkrafts kontinentalkabel från Skåne till Tyskland. För fri distribution i båda riktningarna behövs fler kablar. Om intentionerna ger resultat minskar behovet av ny kraftproduktion på kort sikt. Alla länder har planerat med överskott.

Politik

Den politiska debatten i Sverige handlar inte om att bygga nya kärnkraftverk, utan om hur de befintliga skall drivas. Att röster ifrågasätter avvecklingstidpunkten, får tolkas som att man tvivlar på att alternativa energikällor klarar försörjningen tillräckligt snabbt. Om den hypotesen stämmer återstår sparande och fossila bränslen. Sparandet har varit framgångsrikt hittills beträffande olja, men knappast el. Fossila bränslen försöker regeringarna motverka via högre skattesatser (30, 31). Under hösten 1992 har frågan fått ny näring p.g.a. stoppen i fem reaktorblock (60). Från motståndarna till kärnkraft tas problemen till intäkt för att åldrande reaktorer inte går att hantera på ett säkert sätt. Politiker är normalt känsliga för denna typ av opinioner. Det är således rimligt att anta att majoriteten av riksdagsmännen är negativa till att ändra avvecklingsbeslutet. I ett annat skede, där energibrist hotar, kommer uppfattningen inte med nödvändighet att vara densamma. Energipolitiken har enligt intervjuerna [Olsson m.fl.] varit omöjlig att förutse tidigare. Ett svårt framtida läge gör prognosen ännu svårare att ställa.

Samtidigt vågar vi spå att en svår olycka i Sverige eller dess närhet skulle ställa alla förutsägelser på huvudet. Då tillåter troligen opinionen en skyndsam avveckling, även om det skulle innebära uppoffringar.

Socialt

Enskilda människor kommer att styras av kostnader, driftsäkerhet o.s.v. (se sid 41). Om el finns tillgängligt med de förutsättningarna väljer merparten det alternativet.

Teknik

Tillverkarna av kärnenergiutrustning håller på att utveckla nya reaktorkoncept (7). Ett exempel är ABB-Atoms PIUS (21). Strävandena är desamma hos alla, nämligen att få ner kostnaderna för nybyggen samt höja säkerhetsnivån. Kostnaderna för nya kraftverk med traditionell teknik har stigit så kraftigt, att det knappast lönar sig ekonomiskt att investera i dem. Det är alltså ett överlevnadsvillkor för tillverkarna att utveckla nya anläggningstyper. Det finns anledning att tro att de kommer att lyckas. Modularisering och standardisering är medel som utnyttjats i all industriell verksamhet för att sänka kostnader. De kan givetvis tillämpas även på kärnreaktorer. Häfele stryker under att säkerhetsnivån måste höjas väsentligt om den utbyggnad han förespråkar, skall genomföras. Det räcker dock inte, eftersom risker för radioaktiva utsläpp förekommer i varje led i kedjan. Bränsleförsörjningen fordrar fler upparbetnings- och anrikningsanläggningar och kanske även breederreaktorer. Sannolikt är det här som spärren för en kraftig utbyggnad kommer att ligga.

Kulturella förutsättningar

Oron för kärnkraft stiger omedelbart efter en olycka och tycks avta sedan. Opinionsmätningar efter Harrisburg och Tjernobyl pekar på det. Om inga nya olyckor inträffar kommer opinionen att acceptera kärnenergi i framtiden. Gerholm går så långt som att debatten kommer att dö ut (15). En olycka i närheten leder till motsatsen.

Växthuseffekten behandlas allt oftare i massmedia och politiska samtal. De lindriga protesterna mot höjda koldioxidskatter kan ses som ett tecken på det. Nya rapporter om skogsdöd genom försurning förstärker oron för de fossila bränslenas verkningar. Om spådomarna besannas under de närmaste 10-15 åren stiger oron hos gemene man.

Samhällsomvandlingen under 1980-talet har gått i riktning mot decentralisering och flexibilitet (54). Det hänger delvis ihop med strukturförändringar i industri och förvaltning, men också med krav på anpassning och låg sårbarhet. Elförsörjningen i Sverige tillhör de mest utsatta av våra stora system. Det är knappast troligt att det går att helt bygga bort sårbarheten. Att vara alltför mycket beroende av ett fåtal anläggningar kommer att mötas med misstänksamhet.

Infrastruktur

I Sverige finns väl fungerande produktions- och distributionssystem för el. Det medför inga svårigheter att komplettera det med ytterligare enheter. De mycket stora belopp, som investerats i infrastrukturen, minskar utrymmet för andra system, som inte tar tillvara de tillgångar som finns.

Sammanfattning

Kärnkraften betraktas av många som ett nödvändigt ont och av andra som det mest miljövänliga alternativet vi känner i dag. Den korta genomgången av drivkrafter ovan, tyder på att vi hamnar i ett dilemma beträffande elförsörjningen i framtiden

- kärnenergin har stora risker
- fossila bränslen försurar och skapar växthuseffekt
- sparande och alternativa energikällor är osäkra före 2010
- befolkningens vilja till uppoffringar varierar

Takten i utvecklingen av flödande energikällor går, trots stora insatser, tämligen långsamt. Risken att hamna i tidsnöd förefaller uppenbar. Människor med sinne för dramatik ser möjligen detta, som att vi står inför ett val av samhällsmodell snarare än energikällor. Att ändra samhällets grundläggande utformning, utan stora påfrestningar, torde dock ta lång tid. Det är tveksamt om perioden framtill 2010 räcker.

Med reservation för en stor olycka förutspår vi att politikerna i den situationen kommer att ompröva årtalet för avvecklingen, Beroende på hur snabbt biobränslen o.dyl. kommer in i systemet gäller omprövningen även tillstånd att bygga nya verk.

Risk och säkerhet

Kärnenergins risker har penetrerats mer än någon annan industriell verksamhet. I västvärlden har man också lagt ner stora ansträngningar på att förebygga oönskade händelser. Rykten och diskussioner om läget i Östeuropa gör gällande att tillståndet där är betydligt sämre.

Radioaktivt material är ytterst hälsovådligt för människor. Utsläpp av radioaktiva ämnen dominerar därför i alla riskbeskrivningar. Dock bör inte övriga risker ignoreras t.ex. utsläpp av toxiska icke-radioaktiva ämnen. Sådana förekommer tillsammans med radioaktiva substanser och bör ingå i seriösa riskanalyser enligt t.ex. Dejonghe (27).

Uppfattningen om kärnenergins risker och det antal människor som kommit till skada skiljer sig betydligt (34). Den oro som finns grundar sig framför allt på rädsla för potentiella konsekvenser. I den situationen spelar sannolikhetsberäkningar en liten, för att inte säga försumbar roll. De små sannolikheter som räknas fram är obegripliga för flertalet människor.

Vi skall inte har försöka ge någon heltäckande bild av säkerheten i kärnenergisystemet. Den intresserade hänvisas till den rikhaltiga litteraturen på området. Vi nöjer oss med att peka på några osäkra punkter och antyda vilka aktiviteter som pågår.

Vi begränsar oss också till de operationer i systemet som utförs i Sverige nämligen

- bränsletillverkning
- reaktordrift
- avfallshantering och lagring
- transporter

Natvig konstaterar i sin artikel (33) med referens till Tjernobyl och Piper Alpha-olyckan att tillförlitlighetsteorin, när den tillämpas på stora tekniska system stöter på problem med

- brist på relevanta data om systemet och dess komponenter
- kunskapsbrist beträffande tillförlitligheten hos mänskliga aktörer
- kunskapsbrist beträffande kvaliteten på datorprogramvara
- kunskapsbrist beträffande beroende mellan systemkomponenter

Detta är naturligt för komplexa, dynamiska system (35). Utan att gå för långt, påstår vi att full insikt i dessa problem inte är möjlig för de system vi behandlar.

Den normala metoden för riskanalys f.n. kallas PSA, probabilistisk säkerhetsanalys. Den är komplicerad, men har visat sig mycket användbar inom kärnteknologin (18). Den bygger på analys av stora mängder data och erfarenhetsvärden, som förfinas efterhand. Att det trots sådana hjälpmedel inträffar olyckor har betydelse för omgivningens beredskap att acceptera resultaten. Problemen med metoden framgår av Natvigs uppräkning.

Häfele (10) anger att med nuvarande installerad effekt i världen skulle det inträffa en olycka med stora utsläpp en gång per 200 år. Den utbyggnad han förespråkar skulle medföra den oacceptabla frekvensen en gång per 40 år. Han räknar med att man i framtiden måste komma ner till frekvensen en gång på 4000 år. Han föreslår också att sannolikhet och konsekvens skall behandlas var för sig. Det innebär att man dels minskar sannolikheten för incidenter och olyckor, dels förbättrar konstruktionerna, så att de kan råka ut för värsta tänkbara olycka (härdsmälta), utan att det får konsekvenser för omgivningen. I svenska kärnkraftverk har man arbetat åt det hållet genom att förstärka barriärerna runt reaktorerna och installera filter som suger upp utsläppta substanser. För att komma ännu längre måste helt nya konstruktioner ersätta de gamla. De konstruktioner som motsvara dessa krav finns redan på papperet. Nyckelordet är "Inherent säkerhet" (36). Grundtanken är att ett system skall övergå till ett stabilt, säkert tillstånd så snart något oönskat inträffar. PIUS-reaktornhar utvecklats med den tekniken (21).

Låt oss slutligen peka på några av de mest svårförutsedda riskerna.

Bränsletillverkning

Utsläpp i fabriken till följd av mänskligt felhandlande.

Reaktordrift

En serie av oväntade händelser och felgrepp
Åldrande material, som kan ge plötslig sprickbildning och brott.
Angrepp utifrån.

Avfallshantering och lagring

Mänskligt slarv vid inkapsling som medför att barriärerna inte blir så säkra som avsett.
Geologiska eller mänskliga aktiviteter som frilägger avfallet. Detta gäller främst det högaktiva avfallet i framtiden.

Transporter

Mänskligt slarv när materialet läggs i förvaringskärl, i kombination med trafikolycka.

Angrepp eller sabotage.

Fusionsprocesser?

Att utvinna energi genom fusion d.v.s. att slå samman vätekärnor till heliumkärnor har länge varit en dröm för forskare och politiker. Det skulle innebära att vi lyckades skapa en "egen sol" på jorden. Löser man det är energiproblemet ur världen. Åtminstone framställs saken så. Framgångarna har emellertid varit måttliga hittills. Ingen konstruktion (utom vätebomben!) har kunnat generera mer energi än vad som går åt för att hålla processen igång. Frågan befinner sig således fortfarande på forskarnas och inte teknikernas bord. Att stora förhoppningar knyts till fusionsforskningen framgår av att dåvarande presidenterna Gorbatjev och Reagan 1985 i Reykjavik, kom överens om ett gemensamt storskaligt forskningsprogram. Det har sedan tagit form i det s.k. ITER-projektet. (ITER = International Thermonuclear Experi-mental Reactor). Japan och EG har anslutit sig till projektet. En anlägg-ning beräknas stå klar 2005. Den kommer att bygga på den traditionella Tokamaktekniken, men i betydligt större skala än för närvarande (57).

Några slutsatser om resultat kan givetvis inte dras ännu. Dock tyder planerna på att kommersiella reaktorer, med den teknik som prövas, måste bli mycket stora, för att bli lönsamma. Om experimenten lyckas torde det ändå dröja till bortemot år 2050 innan vi får ett väsentligt bidrag från fusionsreaktorer.

Biobränslen

Allmänt

Biobränslen har utnyttjats ända sedan människan lärde sig hantera elden. Vid sidan av kemisk energi i form av föda, utgör alltså bioenergin den mest ursprungliga av energikällor i människans tjänst. Bioenergin trängdes tillbaka först av kolet sedan av oljan. Bortsett från tillfälliga uppsving under de båda världskrigen, dröjde det till oljekrisen 1973 innan biobränslena började uppmärksammas på allvar igen. Efter reaktorhaveriet i Harrisburg ökade intresset för nya energislag kraftigt. Biobränslen fördes fram, som ett väsentligt komplement, för att minska oljeberoendet. Aktiviteten har varit hög både i fråga om forskning, praktiska försök och kommersialisering (47). Främst skedde detta på statligt initiativ. Sjunkande priser på kol och olja har under 80-talet medfört försämrade marknadsförutsättningar och ekonomiska svårigheter för biobränsleeldade energiverk.

Medvetandet om nedsmutsningen av atmosfären har vuxit under 1980-talet. Nedbrytningen av ozonskiktet och växthuseffekten har diskuterats mycket. Trots att detta är komplexa frågor, som ännu inte fått några färdiga svar, påverkar de lagstiftning och annan styrning. Beskattning av utsläpp, t.ex. av svavel och koldioxid, visar att politikerna tar problemet på allvar. Biobränslen framstår här som en lösning, eftersom de inte bidrar med något nettotillskott av växthusgaser i det långa loppet. Frånvaron av en långsiktig energipolitik har hittills skapat problem för biobränslesatsningar.Det är tveksamt om skatteförändringarna 1990-92 räcker, men de anvisar i alla fall en riktning.

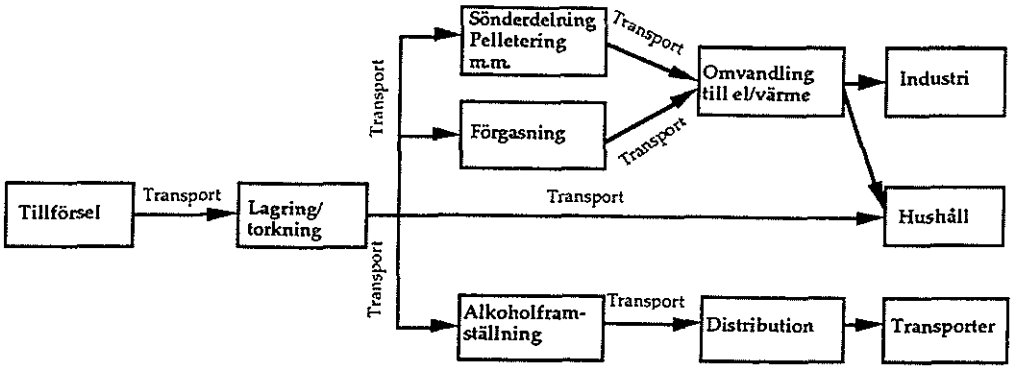
Biobränslen har alltid funnits kvar på vissa områden. Skogsindustrin har utnyttjat restprodukter, genom att omvandla dem till värme och el för sina processer. På landsbygden har vedeldning varit den naturliga värmekällan.

Biomassa är lagrad solenergi. Den skulle därför kunna föras in under kapitlet om solenergi. Biomassan företer emellertid en rad säregenskaper, som motiverar att den behandlas för sig.

Beskrivning/tillämpning

Biobränslen kan i princip omvandlas till alla slags energibärare. En fullständig beskrivning inkluderar då de flesta avsnitt i denna studie. För att förenkla bilden har vi här tagit fasta på de tillämpningar som förekommer och vidare de som anses ha en framtid i det svenska energisystemet. Torv innebär ett gränsfall. Sammansättning och bildning talar för att den skall klassificeras som biobränsle. Nybildningstiden påminner dock mer om fossila bränslen. I denna studie har torven förts till fossila bränslen, eftersom den i vissa fall, på ett mer naturligt sätt än biobränslen ersätter kol och olja.

Fig. 15



Tillförsel

Bland fördelarna med biomassa ingår att den är spridd överallt. De fysiska förutsättningarna för en bred användning föreligger således. Koncentrationen av energi är låg i jämförelse med t.ex. kol eller olja. Det implicerar lokalt utnyttjande, för att undvika höga transportkostnader. De ekonomiska förutsättningarna följer dock intenödvändigtvis dessa enkla grundregler.

Biobränslesystemet kan försörjas med biomassa genom

- åkerbruk av energigrödor eller energiskog
- skogsbruk, främst avverkningsrester eller trädavfall från industrin
- import

Avverkning av skog för energiändamål förekommer mest bland skogsägare, som tar ut mindre volymer för eget bruk. En del kommuner direktavverkar dock skog till sina pannor.

Lagring/torkning

Biobränslen har vanligen hög fukthalt efter utvinning. Det finns utvecklade processer i kombination med rökgaskondensering, som kan utnyttja fuktiga bränslen. I de flesta fallen fordras emellertid torrare bränsle. Torkningen kan vara styrd eller okontrollerad och ske under mellanlagring eller som preparering före fortsatt bearbetning.

Sönderdelning, pelletering m.m.

Innan bränslet används måste det i allmänhet omformas. Trädbränslen grovflisas eller krossas till mindre, inhomogena fraktioner. Dessa går antingen direkt in i processen eller bearbetas vidare till mer homogena fraktioner, pellets, briketter eller pulver. Valet av slutlig form hänger samman med flera faktorer som transportbehov, kundönskemål och bränsleanläggningens storlek. Pellets och pulver kan utnyttjas på ett mer flexibelt sätt i olika panntyper. Det förekommer således rena marknadsskäl till varför man väljer dessa tämligen dyrbara former.

Bränslen från åkermark t.ex. energigrödor eller halm samlas och komprimeras i balar eller dylikt. Motsvarande sker med vass. Energiskog behandlas som trädbränsle.

Förgasning

Vid förgasning sönderdelas biomassan med hjälp av värme och syre och omvandlas till bl.a. gas i en förgasare. Den framställda rågasen innehåller flera gaser t.ex. kväve, metan, väte och koloxid.

Gasen renas och kan sedan användas i motorer, turbiner och pannor. Själva gasförbränningen är effektivare än förbränning av den ursprungliga biomassan. Förgasningen är dock omständlig och kostsam. Tekniken befinner sig i snabb utveckling, varför det finns ursikter att förgasning skall få en större omfattning. Gasen har sitt största intresse för elframställning eller vid konvertering av oljepannor till fastbränsle i stora anläggningar.

Alkoholframställning.

Flytande energibärare har många fördelar, framför allt med transport och förvaring. Alkohol som tillsats eller rent bränsle har både diskuterats och prövats med gott resultat i Sverige och andra länder. Brasilien har tillämpat den längst gående lagstiftningen för att ersätta bensin med alkohol som drivmedel. (10).

Alkohol framställs från säd, sockerrör, potatis och en mängd andra grödor.

Omvandling till el/värme

Fast bränsle utnyttjas mest som bränsle i värmepannor. Dessa kan variera från småskaliga kaminer till stora anläggningar med fast eller rörlig rost. Den moderna tekniken för fastbränsle är virvelbäddspannor (fluidised bed) som utvecklats kraftigt under 1970- och 80-talen.

Energin omvandlas till el i vanliga ång- eller gasturbinkraftverk. Speciellt gasturbiner har utvecklats och blivit mer ekonomiska än tidigare. I dessa processer är det intressant med förgasad biomassa.

Integrerade kraftverk s.k. IGCC eller "gaskombiverk" framhålls ofta som den mest lovande tekniken f.n. (43). Den förgasade och renade biomassan passerar först en gasturbin varefter de heta gaserna kokar vatten till ånga som går till en ångturbin. Det varma vattnet kan cirkulera i ett fjärrvärmenät, vilket gör anläggningen till ett komplett kraftvärmeverk. Utnyttjandegraden medför att effektiviteten i ett sådant verk blir hög.

Distribution

Flytande produkter distribueras till användare i transportsektorn på samma sätt som drivmedel i nuvarande system.

Industri, Hushåll, Transporter

Användningen av slutprodukter från biomassa är el, värme och drivmedel. De används på normalt sätt. För närvarande svarar omvandling till värme för 90-95 % och till el 5-10 %. Drivmedelstillverkningen är marginell.

Framtidsperspektiv

Biobränslen har tilltalande egenskaper t.ex.

- spridd tillgång
- inget nettoutsläpp av växthusgaser
- låga utsläpp av svavel och andra ämnen

som fört fram dem som "generalalternativet" för framtidens energiförsörjning. Ibland förs även sysselsättningsskäl fram som en positiv aspekt. Biobränslen växer i landet. De kräver mycket arbete och kan generera en teknisk utveckling, som går att exportera. Förhoppningarna må vara överdrivna, men de går inte att bortse ifrån. Stämmer förhoppningarna med drivkrafterna?

Marknad

Den framtida marknaden har studerats noga på senare tid (43, 46). I dagsläget används c:a 65 Twh bioenergi. En prognos gör gällande att potentialen ligger på 130 Twh, d.v.s. en fördubbling, vilket skulle vara möjligt att nå till år 2015. Lönsamhetsaspekter ger mindre värmecentraler de bästa förutsättningarna. Elgenerering förekommer i dag företrädesvis vid mottrycksanläggningar i skogsindustrin. Den andelen går att öka något. Totalt sett kan biobränslen svara för en stor andel av den svenska energiförsörjningen om dock inte hela. Det kräver emellertid hård politisk styrning, om det skall inträffa inom en 20-årsperiod. Prisnivåerna på alternativa energikällor ligger för lågt för att biomassan skall kunna konkurrera utanför sina naturliga nischer.

Politik

Riksdagen har fattat beslut i avsikt att gynna en övergång till biobränslen. Besluten gäller såväl skattebelastning, som direkt stöd till FoU. De nämnda utredningarna visar i scenarieform, att åtgärderna inte räcker. Besluten anger dock en viljeinriktning. Konkurrenskraften i svensk industri avgör hur snabbt man vågar fortsätta på den inslagna vägen. Miljöfaktorer spelar också en viktig roll. Deras inverkan sätts på sitt största prov när de faktiska besluten om att avveckla kärnkraften fattas.

Socialt

Det var länge sedan energiförsörjningen kunde hanteras inom det sociala systemets ramar. En ökad satsning på biobränslen blir visserligen lokal jämfört med nuvarande storskaliga system, men innebär knappast en återgång till familjenivån. Glesbefolkade län med skogs- och torvtillgångar gynnas givetvis om arbetstillfällena hamnar där.

Teknik

Tekniken har gjort stora framsteg under 1970- och 80-talen. Utvecklingen kommer att fortsätta under många år, inte minst beträffande biobränslen för elgenerering. Moderna pannor särskilt med virvelbädd gör biobränslen konkurrenskraftiga i mindre värmecentraler. För att generellt kunna sänka kostnaderna måste dock lagring, torkning och omvandling förbättras betydligt. Det kommer att ta lång tid. Tekniken kommer med andra ord inte att ensam kunna svara för ökad användning. Det räcker inte med att anläggningarna blir billigare och mer effektiva. Bränslepriserna får inte vara högre än andra energikällor.

Kulturella förutsättningar

Inställningen till biobränslen är positiv bland beslutsfattare och enskilda. Här måste dock en brasklapp bifogas avseende bioränsleanvändning i stor skala. Eftersom koncentrationen är låg fordras stora ytor för att ersätta andra energislag. Miljöeffekter av gigantiska monokulturer för energiändamål, i kombination med kalavverkningar, är inte klarlagda. Vissa slutsatser kan dras från nuvarande jord- och skogsbruk. Protester mot dammanläggningar och upprivna torvmossar ger en försmak av en framtida diskussion.

Infrastruktur

När de första moderna fastbränsleanläggningarna installerades i Sverige saknades infrastrukturen. Man fick förlita sig på system, som etablerats för andra ändamål. Efterhand har lagring, torkning, omvandling och transporter byggts upp, vilket sänkt kostnaderna för biobränslen. Vi bör hålla i minne att hälften av biobränsleanvändningen i dag finns inom skogsindustrin, som har väl fungerande kringsystem. En kraftig utbyggnad i samhället kräver fortsatta stora investeringar i infrastrukturen. Det gäller i särskilt hög grad för drivmedel, där utbyggnaden knappast kommit igång alls. För elgenerering föreligger inte det problemet. Där räcker den befintliga strukturen långt.

Sammanfattning

De pådrivande krafterna finner vi främst inom de politiska och tekniska områdena. Med undandtag för vissa områden, som skogsindustri och mindre värmeanläggningar, så innebär de ekonomiska faktorerna en hämmande faktor. Vidare har miljödiskussionerna inte tagit fart, men förväntas göra det i takt med ökad markanvändning för energiändamål. På mycket lång sikt är biobränslen nödvändiga inte bara i Sverige, utan för världen i sin helhet. Vägen dit bestäms av

- prisutvecklingen för alternativa energislag
- den politiska viljan att bromsa utsläppen av växthusgaser.

Vi förutspår en stabil, relativt långsam utveckling av biobränslenas marknadsposition.

Risk och säkerhet

Att biobränslen medför miljövinster, betyder inte att de minskar övriga risker i samhället. Vanligen betraktas de som säkrare än t.ex. kärnkraft och olja. Det visar bara att risker värderas olika. Anläggningssäkerhet och farligt-godstransporter tillhör de mest genomlysta företeelserna i vårt samhälle. De kan betecknas som typiska för just kärn- och oljeenergi. Biobränslen som omvandlas till flytande form eller gas, ger upphov till risker av samma karaktär som oljan. Anläggningarna kommer normalt att vara mindre än de nu mest förekommande, varför haverier inte behöver medföra lika katastrofala följder.

Vi kan sammanfatta riskerna enligt följande.

- Biobränslen medför en kraftigt ökad transportvolym med åtföljande trafikrisker.
- Lagrade fraktioner av fasta bränsle kan självantända och ge upphov till svårsläckta bränder
- Dammexplosioner kan inträffa på heta ytor eller vid gnistbildning
- Biogas innehåller brandfarlig metangas
- Förgiftning kan uppstå vid svavelväteläckage i biogasframställning
- Arbetsplatsolyckor vid användning av maskiner
- Anläggningarna placeras nära bebyggelse
- Ask- och slagghantering är dammig och oftast med heta material

Biomassa kan hämtas från ett mycket varierande ursprungsmaterial. Det går inte att utesluta förekomsten av farliga substanser, som ger skador på människor vid läckage eller bränder.

Enkelt uttryckt innebär riskerna att sannolikheten för en olycka måste betraktas som tämligen stor, medan konsekvenserna i de flesta fall begränsas till ett litet område. Genom att biobränslen används lokalt blir antalet anläggningar och transportvägar stort. Många människor kommer att regelbundet ha kontakt med systemet. Det blir svårare att upprätthålla en kompetens och arbetsmoral, som undanröjer olycksriskerna. Utredarna påpekar att personalen måste iaktta säkerhetsföreskrifter och sköta anläggningarna väl. Vid en omfattande utbyggnad talar historien för att detta leder till problem.

Obs! I de ekonomiska uppsatserna tar man med miljöhänsyn, men inte olycksrisker. Skall kostnaderna för dem räknas in eller är de försumbara? Hur prissätter man olyckor?

Flödande energikällor

Allmänt

Flödande energikällor brukar tillsammans med biomassa sammanföras till "förnybara energikällor". Uttrycket används för att skilja dem från fossila bränslen och uran, som endast finns i begränsad mängd. Förnybar betyder egentligen, att energin hämtas från fusionsreaktionerna i Solen eller från Jordens egen värme. Dessutom ger månens gravitation upphov till tidvattnet, vilket också bör ingå bland de förnybara källorna. Det tillskottet utgör dock en mycket liten del. Beräkningar av mängden energi från solen visar att det rör sig om enorma tal (10). Även efter reduktion för den strålning, som direkt reflekteras tillbaka till rymden och hänsyn till en rad andra faktorer, återstår c:a 6 000 ggr människans nuvarande energiförbrukning (39). Merparten av detta går åt till naturliga processer som

- uppvärmning och avdunstning av vatten
- uppvärmning av luftmassor
- fotosyntes

Solenergin omvandlas till former, som redan utnyttjas i människans energiförbrukning d.v.s. vattenkraft, vindkraft och biomassa. Vatten, som transporterats till hög höjd och under sin väg till havet avger energi, är liksom biomassa koncentrerade former av solenergi.

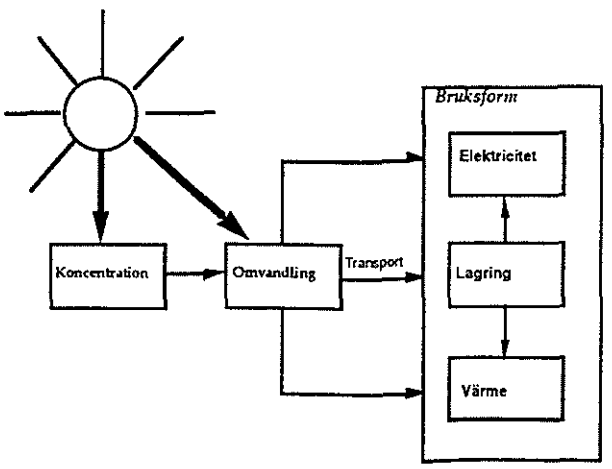
Sol

Vi skall här begränsa oss till hur solstrålningen fångas in direkt, utan de omvandlingar som nämnts ovan.

Beskrivning/tillämpning

Vi sammanfattar de vanligast förekommande tillämpningarna i ett flöde.

Fig. 16



Koncentration

Solenergin förekommer i ytterligt utspädd form. Att ta tillvara större mängder fordrar att den koncentreras. Flera stora försöksanläggningar drivs runt om i världen. De mest kända torde vara (40).

- soltornen Solar One i Dagget, Californien och Almeria i Spanien
- LUZ Corporation´s solkraftverk i Mojaveöknen i Californien.

Soltornstekniken går ut på att via avancerade, rörliga spegelsystem (heliostater) koncentrera strålningen till en liten yta (mottagare) i ett torn. Energin omvandlas till värme, som transporteras vidare i ett medium t.ex. ånga eller natrium.

Även LUZ-tekniken bygger på att strålningen koncentreras genom reflektion i solfångare, men här till oljefyllda stålrör.

Koncentreringen kräver stora ytor och tusentals reflektorer/heliostater, även för ett litet solkraftverk på 10 MW elektrisk energi. Soltornstekniken har hittills visat sig alltför dyr. Den tekniska utvecklingen fortsätter emellertid bl. a. i det europeiska s.k. Phoebus-projektet (10).

LUZ-tekniken har tack vare speciella finansieringsformer och skattelättnader lyckats producera kraft till konkurrenskraftiga priser.

Omvandling

I storskalig tillämpning omvandlas energin i vanliga ångturbinkraftverk. För att utjämna variationer i solstrålningens intensitet utvecklas mellanlager. Samtliga anläggningsteg blir således stora och därmed kapitalkrävande.

Vid småskalig användning av solenergi omvandlas strålningen till värme i s.k. solfångare eller elektricitet i solceller. Sverige har måttliga förutsättningar för större anläggningar. Solen skiner för litet och dessutom i ofördelaktig vinkel. Här har i stället utvecklats teknik för lokala tillämpningar. Sverige tillhör de ledande nationerna, vad gäller plana solfångare för värme, både ifråga om teknik och FoU.

Fotovoltaisk elektricitet (solceller) representerar något av det perfekta sättet att generera elektricitet. Inga föroreningar, inget buller, inget behov av vatten och minimala krav på underhåll är tilltalande egenskaper. Dessutom kan de användas både i liten och stor skala. Hittills har kostnaderna bromsat den riktigt stora expansionen. Priserna har emellertid fallit med c:a 80 % under 1980-talet och på en växande marknad fortsätter den utvecklingen. Redan nu är solceller kommersiellt gångbara, där förhållandena är speciella t.ex. långt ifrån de stora distributionsnäten. Teknik-utvecklingen t.ex. tunnfilm ser ut att kunna sänka kostnaderna till samma nivå, som dagens storskaliga system med vatten- och kärnkraft.

Bruksform

Solenergi genererar värme och el. Skall systemet vara pålitligt behövs vanligen ett lagringssteg. Värme sparas ex.vis i ackumulatortankar och el i batterier. Konsumtionsenergin hämtas då från lagret, som fylls på när omvandlingssystemet är aktivt. Undantag finns redan kommersiellt t.ex. konsumentprodukter, som drivs med solljus.

Framtid för direktanvändning av solljus

I ett mycket långsiktigt perspektiv 100-200 år kommer solenergi i alla dess former att vara den återstående energikällan. Det är egentligen ingen nyhet, utan en återgång till förhållandena före industrialismen. Tekniken gör det möjligt att ta tillvara större volymer än tidigare. Detta blir med all säkerhet nödvändigt mot bakgrund av befolkningsökningen. Med nuvarande prognoser ökar energiförbrukningen c:a 2,5 gånger fram till år 2100, även om I-länderna genom effektivisering halverar sin per capitakonsumtion (10). Miljöproblemen vållar redan nu problem. Inför den förutspådda ökningen tycks det inte finnas någon annan väg än flödande energi och biomassa. Ett möjligt komplement är också fusionkraften (se sid. 45).

Risk och säkerhet

Solenergi framställs ofta som riskfri och miljövänlig. Riktigt så enkelt förhåller det sig inte. Ett typiskt drag hos alla flödande energikällor är att de kostar mycket i investering och litet i drift. Här undantar vi framtida, storskaliga lösningar, som kräver mycket underhåll och rengöring. Solfångare och lagringssystem är industriella produkter. Massproduktion i industrin, speciellt vid hantering av kemikalier, innebär risker för anställda och omgivning. Det ligger dock vid sidan av själva energisystemet, varför vi inte skall gå in närmare på det här.

Solfångare för värme innehåller värmebärare och kemikalier som bl.a. skall förhindra korrosion. Glykol, höggradigt giftigt, ingår oftast i värmebärande vätska.

Vi har således risker för

- läckage av giftiga ämnen
- gasbildning vid brand

Solbaserade system kommer troligen att expandera i lokala tillämpningar. De blir därför många till antalet, vilket borgar för ett visst antal olyckor per år till följd av slarv, ovarsamhet eller vandalisering. Solpaneler kommer av utrymmesskäl ofta att monteras på hustak och väggar. Det leder med säkerhet till regelbundna arbetsolyckor med dödlig utgång. Jämförelser kan göras med ex.vis gruvdrift, byggnation och fartygsarbete.

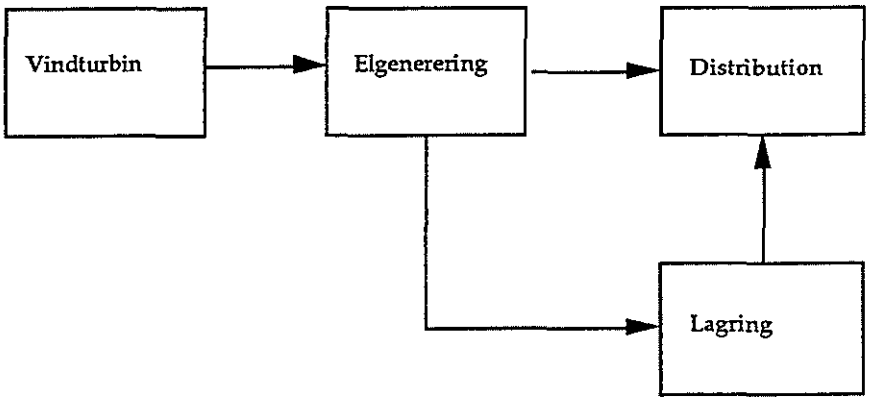
Om riskerna skall bedömas som mindre eller större än för andra källor är en definitions- och systemfråga. Vilka risker skall tas med? Antalet människor som skadas, kan bli större i ett "solsamhälle" om man summerar ovannämnda risker och de industriella. Troligen får olyckorna mindre konsekvenser varje gång de inträffar. Transportolyckor kan komma att minska något, om lokala alternativ blir dominerande. Framför allt sjunker mängden farligt-godstransporter.

Ett storskaligt system, baserat på flödande energi och väte som energibärare, ställer speciella krav på säkerhet. Se avsnittet "Vätesamhället" sid 70.

Vind

Figuren visar schematiskt vindenergin i sitt sammanhang. Mekaniska tillämpningar t.ex. pumpning har utelämnats.

Fig. 17



Vindenergins risker kan nästan helt föras till tillverkning och uppförande samt elanvändning och lagring. Omvandlingen från mekanisk till elektrisk energi i en vindturbin får räknas till de minst riskabla metoderna vi känner till. Den mest påtagliga faran ligger i att delar lossnar från turbinen och kastas iväg. I större vindfarmer med 100-tals turbiner kan man inte helt bortse från den risken. Eftersom sådana anläggningar avskärmas från omgivningen är det låg sannolikhet att människor kommer till skada. Många vindkraftverk placeras nu ute på gårdar. Danmark har uppmuntrat sådana byggen bl.a. genom skattebefrielse. Sveriges riksdag har infört liknande regler. Exemplen från Danmark och Californien tyder på att skattelindring i kombination med möjlighet att leverera överskottsel till centrala distributionsnät, räcker för att sätta igång en stark expansion. Eftersom reglerna är nya i Sverige går det inte ännu att säkert säga om samma sak inträffar. Mycket talar dock för att vinden ökar i betydelse för energiförsörjningen.

Beträffande riskerna med elanvändning och lagring hänvisar vi till avsnitten "Elektricitet" och "Vätesamhället".

Vatten

Vattenkraften svarar för hälften av den svenska elförsörjningen c:a 60 TWh per år. Vattenkraften skiljer sig från sol och vind bl.a. därigenom att lagringen sker i stora dammar före användning. Det är också dammbyggnaderna, som utgör den största riskkällan.

Fig. 18

Dammar utsätts för nedbrytande krafter i naturen och kräver fortlöpande översyn och underhåll. Enligt samtal med företrädare för enrgiföretag är sprickor i dammar förhållandevis vanliga, utan att det leder till olyckor. Dammar som rasar räknas till de största moderna katastrofhoten. Längs älvdalarna finns många samhällen, som löper risk att skadas i den flodvåg som följer på ett dammsammanbrott. Sverige har förskonats från större ras. Det finns också en lång erfarenhet av vattenkraft och dammbyggnation. Dammarna utgör naturligtvis lämpliga objekt för sabotage. De är lättillgängliga och ligger i allmänhet avsides.

Vattenkraften kan byggas ut ytterligare i Sverige till c:a 90 TWh (39). De fyra outbyggda större älvar, som återstår har hittills skyddats i lag. Befintliga kraftverk byggs om med höjd kapacitet och en del mindre verk tas i drift. Troligen kommer framtida politiker att dröja med att släppa de orörda älvarna tills det eventuellt uppstår ett akut behov av elkraft.

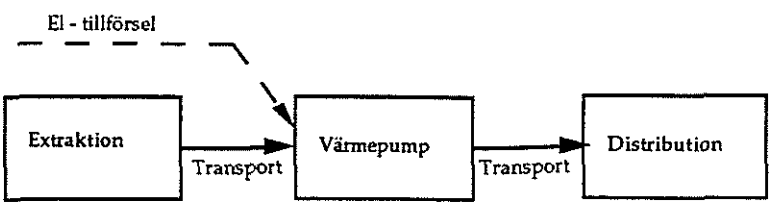
Kraftverken skapar i sig inga stora risker. De är förhållandevis stora och massproduceras inte.

Beträffande elektriciteten hänvisas till det avsnittet.

Värmepump

Värmepumpen är ingen energikälla, utan en maskin som höjer effektiviteten i energisystemet. Dess funktion är att omvandla lågvärdig värme till högvärdig genom en speciell process. För denna krävs en mindre del högvärdig energi, vanligen el. Gas och andra bränslen går också att använda.

Fig. 19



Beskrivning/tillämpning

Vi skall inte närmare gå in på de tekniska beskrivningarna eftersom helhetsbilden i detta fall är tämligen enkel att förstå.

Den lågvärdiga energin kan hämtas direkt ur marken som ytjordvärme eller bergvärme, ur sjövatten, avloppsvatten o.s.v. Antalet värmepumpar i Sverige uppgår till c:a 120 000 varav 90 % är små villavärmepumpar (41). Den huvudsakliga användningen gäller uppvärmning av hus och lokaler.

Den primära risken med värmepumpar rör utsläpp av kemikalier som finns i köldbärarvätskor. Dessutom kan värmepumpar ge freonutsläpp samt gasbildning i samband med bränder. Freoner innebär främst ett miljöproblem. Det råder nu internationell enighet om att freonerna måste elimineras på sikt. Värmepumpstillverkarna söker ersättningsämnen. Flera förslag har presenterats. Vilka risker dessa för med sig är inte klarlagt ännu.

Värmepumpen har en naturlig plats i energisystemet om miljöproblemen kan lösas. Riskerna för liv och hälsa måste betraktas som små, i jämförelse med andra metoder att utvinna energi. En sannolik utveckling är att små värmepumpar ökar sin andel. De har lägre felfrekvens och passar väl in i en mer decentraliserad framtida struktur.

Avfallsenergi

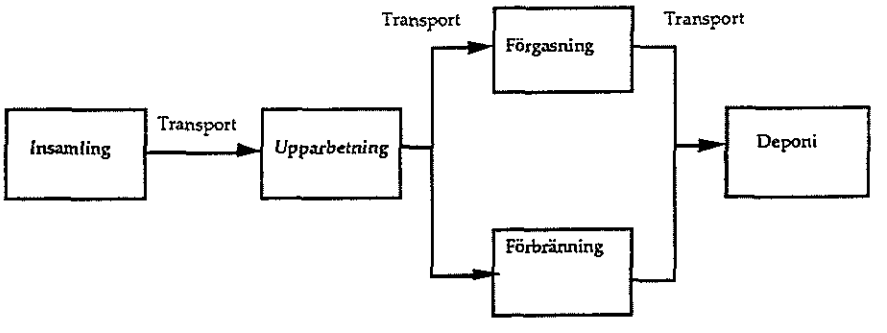
Allmänt

Det moderna industrisamhället producerar mycket avfall. Enligt beräkningar i den s.k. ENA-utredningen (37) åstadkommer svenska hushåll 2,5 miljoner ton och industrin 4,5 miljoner ton avfall årligen. Synen på avfallet varierar. Inom EG ser man det som en vara, d.v.s. en resurs. Avfallet skall hanteras på samma sätt som andra varor, kunna flöda fritt över gränserna och lyda under konkurrensreglerna. Undantaget är miljöfarligt avfall, som varje land skall ta hand om självt. Redan i proposition 1975:32 framhåller regeringen att avfall skall betraktas som en resurs bl. a. för energiförsörj-ning. Efter de kraftiga prishöjningarna på olja i samband med oljekri-serna 1973 och 1979 ökade också intresset för avfall som energiresurs. På senare år har intresset stagnernat. Huvudproblemet med avfall som energikälla ligger i miljöeffekterna. Förbränningsanläggningar av äldre typ s.k. rostar, släpper ut stora mängder skadliga ämnen. Att ta bort dem kostar betydande summor.

Beskrivning/tillämpning

Vi visar ett exempel på avfallsflöde.

Fig. 20



En alternativ väg är att samla upp gas som bildas på en deponi. Det förekommer på flera håll. Energiutbytet är emellertid förhållandevis litet.

Insamling

Hushållsavfall hämtas som regel i säckar vid de fastigheter som producerar avfallet. Kommunerna svarar för insamlingen. Industrin bär själv ansvaret för sin avfallshantering.

För papper, glas och aluminiumburkar finns särskilda retursystem. Försök med längre gående källsortering prövas på olika håll, vilket kan komma att påverka insamlingssystemet.

I EG, särskilt Tyskland, har man av utrymmesskäl sådana problem med avfall, att man startat försök i större skala. Små containrar eller lådor ställs ut för insamling av ex.vis förpackningar. Tyskland går också före med lagstiftning, som skall tvinga industrin att svara för det avfall, som deras produkter ger upphov till. Den svenska "kretsloppsdiskussionen" går i samma riktning. Det är mycket troligt att avfallsinsamlingen förändras i framtiden över hela Europa med nya, ekonomiskt rationella metoder.

Upparbetning

Hushållsavfall går i stor sett obearbetat till förbränning eller deponering. Eventuellt kompakteras det före förbränningen. För att höja kvaliteten på bränslet och rensa ut en del miljöskadliga ämnen, kan man upparbeta avfallet. Det sker genom malning, magnetseparering, siktning, torkning o.s.v. En experimentanläggning i Tyskland går längre och startar processen med avfallssortering. Tekniken är ännu i ett tidigt skede, men representerar framtida alternativ/komplement till källsortering.

Förgasning

Vid förgasningen hettas avfallet upp med underskott av luft. I processen bildas lätta gaser som metan, väte och koloxid, men även tyngre beroende på vilken processtyp som används. Gasen renas och separeras för fortsatt användning som bränsle. I förhållande till andra sätt att erhålla gas, bedöms metoden som dyr. Andra fördelar kan dock komma att göra den användbar i vissa fall.

Förbränning

Konventionella anläggningar bränner sopor i en rostugn. Det är en i grunden mycket enkel operation, där soporna obehandlade töms ner på en rost och förbränns. Rökgasreningen är ett nödvändigt, komplicerat slutsteg.

På senare tid har man installerat s.k. PFBC-pannor. (PFBC, Pressurized Fluidised Bed Combustor). De har väsentliga fördelar genom att processen kan styras effektivt. Utsläppsnivåerna minskar och energiutbytet ökar. Tekniken är komplicerad och därmed dyrare i investering.

Deponi

Sopor deponeras direkt eller efter förbränning. Vid förbränningen bildas slagg eller aska beroende på vilken metod, som använts i processen. Lakvatten från deponeringsplatser passerar i flera kommuner ett reningsverk, innan det släpps vidare.

Förbränning av sopor minskar volymen med c:a 90 %. Trots detta ökar sopmängden alltför snabbt. Man strävar efter att hitta användningsområden framför allt för slagg. Man har t.ex. prövat att nyttja den som vägfyllnadsmaterial. Det är tämligen vanligt i andra länder i Europa.

Framtiden

Det växande sopberget har tilldragit sig alltmer uppmärksamhet från 1980-talets början och framåt. De flesta torde vara överens om, att man måste minska volymerna. Det finns prognoser, som säger att utrymmet för deponering i de tättbefolkade områdena i Euorpa snart kommer att vara slut. Avfallsmängden kan påverkas på olika sätt.

1 Återvinningen ökar genom att produkter förbereds redan i utvecklings- och tillverkningsfasen.

2 Avfallet tas om hand för energiändamål ev. kompletterat med att restprodukter nyttiggörs.

3 Soporna bränns utan att energiinnehållet tas tillvara.

Avfallsproblemet är av sådan kaliber, att det måste lösas. Energiutvinning ur avfall kommer förmodligen även framgent, att vara förenad med högre kostnader än andra energikällor. Det blir nödvändigt att styra avfallshanteringen om energiandelen skall öka. Den totala energimängden i det svenska avfallet har uppskattats till 11-12 TWh. Av det utnyttjas c:a 4 TWH, vilket skulle gå att öka till 7-8 TWH. Det är ett bidrag till den nationella försörjningen. Det förutsätter, att utsläpp av farliga ämnen håller tillräckligt låga nivåer. Den avancerade teknik som erfordras, indikerar att ett fåtal stora anläggningar med god kontroll, skulle vara det bästa sättet att lösa problemen. Å andra sidan riskerar transporterna och de miljöstörningar de medför, att driva kostnaderna i höjden. Den slutgiltiga lösningen vilar ännu i framtiden. Troligen inkluderar den betydligt bättre sortering och upparbetning, än vad som nu är gängse. Efter år 2000 börjar återvinningsansträngningarna att ge resultat, vilket minskar problemet. Det kommer att ha en återhållande verkan på nödvändiga investeringar och förstärka kraven på styrmedel.

Avfallsförbränning för energiändamål förutsätter fjärrvärme. Fjärrvärmen är väl utbyggd i större kommuner. Nya beskattningsregler kan bromsa fortsatt utbyggnad.

Ett alternativ till värme skulle vara att producera el och värme i s.k. kraftvärmeverk. Besvärliga korrosionsförhållanden m.m. gör detta mindre lönsamt och knappast till något större inslag i avfallshanteringen.

Risk och säkerhet

Avfall är speciellt såtillvida att det innebär risker oavsett om man utnyttjar det eller inte. Det är ett känt faktum att soptippar landet runt innehåller okända kvantiteter av skadliga ämnen t.ex. tungmetaller som läcker ut i omgivningen. Dioxinbildning vid avfallsförbränning är svår att komma tillrätta med. Genom sortering och styrning av förbränningen bör det vara möjligt att i de närmaste eliminera utsläppen.

Här föreligger risker med slarv med prepareringen och underhållet av anläggningarna.

I tipparna bildas gaser till följd av den biologiska nedbrytningsprocessen. Tillsammans med andra lättantändliga produkter innebär detta en latent brandrisk. Bränder i soptippar har visat sig svårsläckta. Gasen kan också nå upp till koncentrationer som innebär explosionsrisk. Sådan exempel redovisas i ENA-utredningen (37 sid 224).

Efter utvinning av gas från tipparna eller förgasning av soporna vidtar en hantering som för andra gaser. För dessa risker se avsnitten om naturgas och väte. Vid förgasning bildas inte bara metan och väte utan även andra giftiga gaser t.ex. koloxid (CO). Primärt utgör de ett arbetsmiljöproblem.

Hänsynslöshet, oförstånd eller tanklöshet medför, att ingen kan garantera innehållet i sopor. Det finns t.ex. alltid risk att explosiva eller giftiga restprodukter följer med. Obearbetade volymer måste alltid ses som en potentiell fara för de, som hanterar dem.

Elektricitet

Elektricitet, eller el, är en energibärare med genomgripande betydelse för vårt samhälle. El berörs i flera av de andra avsnitten. Det finns en utomordentligt omfattande litteratur, som beskriver elens fördelar och avigsidor. Beträffande elens framtid som energibärare, så konstaterar vi bara, att utvecklingen hittills fordrat ökad tillgång. Det förefaller som om el är en komplementvara i samhällsutvecklingen (7). Det innebär att framtiden behöver ännu mer el. Logiskt hänger detta ihop med att nya teknologier i allt väsentligt baseras på el. Effektivisering och rationalisering av elintensiv industri bromsar ökningen, men stoppar den inte.

El har funnits i samhället i drygt hundra år. Arbete med elsäkerhet ger prov på hur förebyggande arbete och förmåga att lära av misstag leder till goda resultat. Vi exemplifierar det med några uppgifter från "elsäkerhetsutredningen, ELSU 91" (55).

År 1902, c:a tjugo år efter den första inomhusinstallationen i Sverige, utfärdades ellagen. Den rörde primärt skydd mot brand. Man anar motiven bakom, d.v.s. bränder till följd av ovarsam hantering. Sedan dess har lagstiftningen utvecklats och förfinats. En mängd utredningar under åren, rörande försörjning och säkerhet, visar vilken vikt man från myndigheterna fäst vid elfrågan.

Olycksfallen började dyka upp i mätbar omfattning vid sekelskiftet, för att snabb stiga till en topp 1920. Därefter sjönk antalet under en period för att på nytt stiga under 1930-talet till en ny absolut kulmen 1945. Därefter har mängden dödsfall minskat oavbrutet, medan totala antalet olycksfall stabiliserats de senaste femton åren. Mot bakgrund av den väldiga ökningen av elanvändningen i landet måste detta betraktas som gynnsamt. Bränder som orsakas av el kostar varje år stora belopp. De uppskattas till c:a 500 MSEK. Vid sidan av skydd mot dödsolyckor, finns således ekonomiska motiv att fortsätta öka säkerheten.

Anpassningen av svensk lagstiftning till EG:s, kommer inte att höja säkerheten. Snarare försvagas vissa inslag, som berör försäkringar och förhandskontroll av materiel. ELSU 91 har uppmärksammat förhållandet och lägger förslag, som skall förhindra att olyckstalen ökar. Det går dock inte att bortse ifrån att risknivån kan stiga något i förhållande till den nuvarande.

Vätesamhället

Det finns goda skäl till att analysera ett samhälle baserat på väte som energibärare. Stora förhoppningar har knutits till vätet. Teknik och användning har lång tradition, varför en analys kan grundas både på teori och praktik. Sett i perspektivet av motivet för denna studie är vätesamhället ett ovanligt bra pedagogiskt exempel. Vi skall därför ägna det extra uppmärksamhet.

Bakgrund

Samhället har använt väte under lång tid, vilket gett kunskap, teknik och erfarenhet. Samtidigt konstaterar vi att vätet aldrig slagit igenom på bred front, för energiändamål. Väte borde vara intressant. Det är ett av Jordens vanligaste grundämnen. Det förekommer dock sällan i ren form, utan bundet i kemiska föreningar t.ex. vatten.

Många har försökt konstruera metoder att utnyttja väte. Ett tillräckligt bra system skulle väsentligt underlätta lösningen av världens energiproblem. Väte är också miljövänligt, när det används. Utsläpp och föroreningar blir små. Väte går att lagra. Det erbjuder en förtjänst gentemot el., som också är en miljövänlig energibärare, när den används. Summerar vi resonemanget, har vi flera odiskutabla fördelar

- tillgången,
- miljöaspekten,
- lagringsbarheten
- teknik och kunskap om hur det skall användas
- kompatibilitet med dagens bränsleteknologi
- valmöjligheter i fråga om primärenergi

Att vätetekniken inte brett ut sig beror på kostnader, brist på infrastruktur och säkerhetsfrågor.

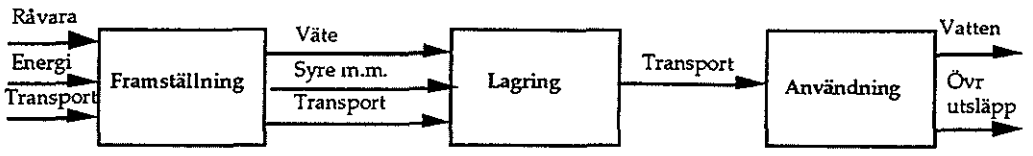
I ett försök att förstå hur man beaktar riskhänsyn i samhällsutvecklingen är väte ett lärorikt exempel. Väte har stora fördelar, men även tydliga risker. Vi har kunskap från industrins tillämpning, som räcker för att bygga ut ett vätesamhälle. Slutsatser bör ge värdefull insikt för analys av andra tänkbara energisystem.

Mot denna bakgrund skall vi titta närmare på vad ett vätesamhälle skulle innebära. Uppgifter och beskrivningar har i huvudsak hämtats från (6). Beskrivningen av vätesamhället syftar till att ge en överskådlig bild av ett tänkbart alternativ som ännu inte realiserats. Tekniska data och specifikationer återges därför endast summariskt. För den som vill tränga djupare hänvisas till facklitteraturen på området.

Beskrivning/tillämpningar

Vi visar flödet översiktligt

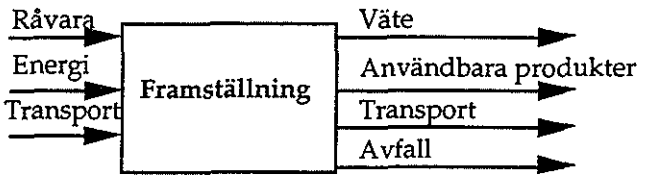
Fig. 21



Vi har utelämnat informationsflödet och de strukturella resurserna. De berörs något i följande genomgång.

Framställning

Eftersom väte förekommer bundet till andra grundämnen måste det frigöras före användning. Väte är således ingen primär energikälla utan en energibärare i likhet med el.



Vätgas produceras antingen som egen produkt eller som biprodukt vid annan produktion. Olje- och petrokemiindustrin erhåller stora mängder vätgas i sina processer. De använder vätet i senare steg och täcker själva större delen av sitt behov. Om processen syftar till att framställa väte, delar vi in metoderna i två huvudgrupper

- frigörande av väte från fr.a. kolväten
- sönderdelning av vatten

Inom grupperna har en rad metoder utvecklats, liksom ett antal mellanformer. Vi talar om

- ångreformering av naturgas
- partiell oxidation av tjockolja
- kolförgasning
- elektrolys av vatten
- termokemisk sönderdelning av vatten
- fotokemiska eller fotobiologiska processer

Av dessa utnyttjas de fyra första kommersiellt, medan de senare befinner sig på forskningsstadiet.

Den helt dominerande volymen vätgas framställs ur fossila bränslen av ekonomiska skäl. Elektrolys i industriell skala är i regel endast försvarbar, när man har stort överskott av primär energi eller el.

Samtliga metoder har det gemensamt att de fordrar stora komplicerade processanläggningar. De arbetar ofta med höga temperaturer i en process med många korrosiva ämnen. Påfrestningarna på material blir stora och kostnadsdrivande.

De primära energikällorna kan vara t.ex.

- fossila bränslen
- kärnenergi
- solenergi
- geotermisk energi
- vattenkraft

Råvaran som vätet utvinns ur kan vara t.ex.

- vatten
- kolväten

Hur råvaran transporteras till framställningen beror naturligtvis på vilken det gäller. Stora mängder fraktas med fartyg till raffinaderier där olja är utgångsmaterial. Lastbil och tåg förekommer också.

Lagring och transport

Väte kan lagras som gas, vätska eller i bunden form med metaller. I stor skala lagrar man gas under tryck, ovan eller under mark. Teknik finns också för att lagra flytande väte vid 20K ovan mark i stora behållare.

Vi kan således förvara väte på två i princip olika sätt, över och under jord. Ekonomiska faktorer talar för att storskalig lagring kommer att ske under jord, under förutsättning att läckageproblemen löses. De höga kapitalkostnaderna utesluter underjordslagring av små volymer.

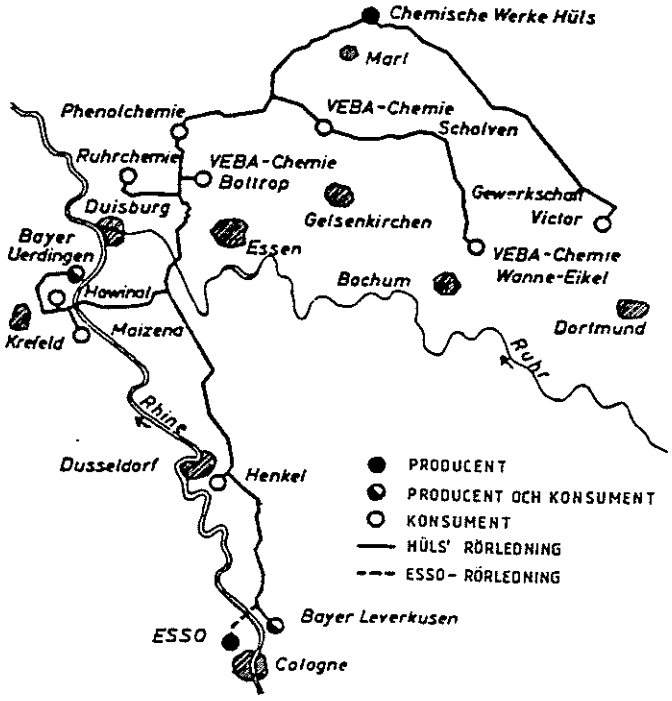
Det pågår forskning och utveckling kring andra lagringsmetoder där vätet binds eller adsorberas under lagringstiden. Mängden fritt väte som exponeras blir så liten att explosions- och brandrisker elimineras. Metoderna är ännu alltför dyra för att bli storskaliga alternativ. Säkerhetsskäl talar för att de kan komma till användning i speciella fall.

Större delen av allt väte används i närheten av tillverkningsplatsen och förbrukas genast. Överskottet bränns ofta upp. Lagring förekommer i mindre skala.

Väte transporteras i gasform, flytande form eller bundet till andra ämnen. Förflyttningen sker i rörledning eller tryckbehållare.

Det finns lång praktisk erfarenhet av båda metoderna. Rörledningar har funnits länge, de längsta i Tyskland (> 200km). Man undersöker möjligheterna att transportera vätgas i naturgasledningar. Vätgasen ställer större krav på material och täthet, men det bedöms ändå som en framkomlig väg. De flesta ledningssystemen är korta. Speciellt för flytande väte, där de utnyttjats för överföring av stora mängder på korta avstånd i rymdcentra.

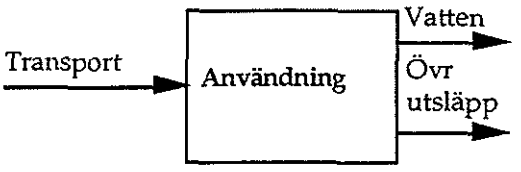
Fig. 22



Rörlednings för vätgastransport i Ruhr-området (6)

Även transport i tryckkärl har förekommit länge till sjöss, på väg och järnväg. Tekniken är väl känd. Det skall dock tilläggas att transporterna skett under iakttagande av hårda säkerhetskrav och med specialiserad arbetskraft. Teknikens tillämpning i bred skala kommer att resa nya krav på dem, som skall hantera den.

Användning



Väte har många aktuella och presumtiva tillämpningar. I detta avsnitt begränsar vi oss till användning som energibärare

- direkt t.ex. förbränning av ren vätgas
- indirekt t.ex. som kvalitetshöjande faktor i annat bränsle.

Väte kan då utnyttjas för

- värme och elproduktion med

  -bränsleceller
  -ång- och gasturbiner
  -värmepumpar
  -katalytiska brännare

- motordrift i

  -vägfordon
  -järnvägsfordon
  -flygplan
  -raketer
  -avgasfria motorer

Bränsleceller

Tekniken med bränsleceller är känd sedan början av 1800-talet, men har uppmärksammats på allvar endast i några årtionden. En bränslecell omvandlar kemiskt bunden energi till elektrisk energi och värme. Cellen matas med gasformigt bränsle. Den kan liknas vid ett batteri. Till skillnad från batteriet, pågår cellens produktion så länge man tillför bränsle. Den behöver alltså inte laddas om. Bränsleceller kan användas både i stationära och mobila sammanhang. Tillämpningen har drivits framåt i det amerikanska rymdprogrammet. Det finns emellertid många försöksanläggningar i drift i flera länder. Tekniken är introducerad på marknaden, men har ännu inte fått något genombrott.

Ång- och gasturbiner

Tekniken finns i bruk i mindre skala. Fortsatt utveckling kan göra väte eller luft/väteblandningar ekonomiskt intressanta för topplast- eller reservkraftsbehov.

Värmepumpar

Vätebaserade värmepumpar har flera intressanta tillämpningsområden t.ex. värmeåtervinning i industrin. Trots problem med att hitta ekonomiskt försvarbara lösningar pågår därför FoU-arbete.

Katalytiska brännare

Tekniken ligger ännu i sin linda. Intresset för den hänger ihop med dess tillämpning i hushållen, för t.ex. spisar och uppvärmning.

Vägfordon

Motorer kan drivas genom direkt förbränning av väte eller med el producerad i bränsleceller. De flesta motorer, som drivs med vanliga bränslen kan konverteras till vätedrift. I fordon måste man bygga ett helt system med komponenterna lagring, transport och förbränningsprocess. Säkerhet måste byggas in i systemet och ta hänsyn inte bara till läckage, utan även kollisioner och andra olyckor.

Flera stora biltillverkare har länge genomfört försök med vätedrivna fordon. Såväl flytande som gasformigt väte har prövats. Lämpligaste tillämpningar inom en nära framtid kan vara

- inomhusfordon
- gruvfordon
- fordon i stadstrafik
- bärbara maskiner

I Europa har Mercedes-Benz utvecklat sin teknik så långt, att man marknadsför den kommersiellt. Annars ligger amerikanska tillverkare i täten, stödda av erfarenheter från rymdverksamheten.

Möjlig framtidsbild?

En samhällsekonomi baserad på väte är långt borta ännu. Väte används dock i stora mängder och teknik finns för de flesta tillämpningar. Pågående FoU kan också leda till genombrott på enstaka områden. Realistiskt sett kommer ett eventuellt vätesamhälle att växa fram långsamt och med flera skönjbara mellansteg. Hårdare miljökrav kan påskynda processen mer än vad som förutses nu. Vi försöker ange, vilka steg som kommer att tas och ungefär när de kan bli aktuella. Observera att scenariot förutsätter att en väteekonomi kommer till stånd överhuvudtaget. Det skall naturligtvis inte hållas för säkert. Det finns alternativ.

Nutid

Väte används främst i industriella tillämpningar. På platser med stora överskott av el tillverkas väte för energiändamål.

Omkring år 2000

Överskottsel används alltmer för att producera väte genom elektrolys. I länder där kärnkraften svarar för både bas och topplast, utnyttjas väte för energilagring.

Bränsleceller har fått spridning utan att ännu ha slagit igenom på allvar.

Fordon i känsliga miljöer drivs ofta med väte.

Omkring 2010

Överskottsel från kärnkraftverk, solkraftverk och vindkraftverk använder regelmässigt väte för energilagring. Kol och andra fossila bränslen utgör den största råvarukällan för väte.

Bränslecellen har tagit en andel av drivkällor för fordon.

Omkring 2020

Den forskning som bedrevs på 1990-talet börjar nu avsätta spår på den kommersiella marknaden. Avancerade metoder för elektrolys, lagring och transporter har sjunkit i pris, samtidigt som flera fossila bränslen dels börjar sina, dels blir allt dyrare. Det återstående fossila bränsle som finns i tillräckligt stora kvantiteter, kolet, får alltför stora miljökonsekvenser. Visserligen har kolhanteringstekniken förbättrats kraftigt, men restprodukterna finns alltid kvar någonstans.

Omkring 2030

Väte är ett normalt sätt att lagra energi. Framställningen baseras på sol-. vind-, vatten- och kärnkraft. Den sistnämnda har fått en renässans genom de s.k. andra och tredje generationens kärnkraftverk, som visat sig säkrare och billigare än kolosserna från 1900-talet. Vid sidan av vätesystemet utgör bioenergi den största energikällan. Den utnyttjas primärt för uppvärmning lokalt.

En stor del i utvecklingen spelade nya material. De tidigare problemen med försprödning och korrosion kunde bemästras till acceptabla kostnader. Dessutom ledde detta till att man lyckades hålla olycksnivån inom rimliga gränser. Som vanligt vid snabb utbyggnad, vilken skedde mellan 2015 och 2025 så underskattade man säkerhetsproblemen. Ett antal större olyckor medförde en kraftfull satsning på förebyggande åtgärder. Bland annat tog man nya material i bruk som själva talade om, när de behövde ses över. Läckageproblemet minskades genom självtätande material.

Får vi ett vätesamhälle?

Vi försöker få en uppfattning om sannolikheten för den skisserade utvecklingen genom att använda vår modell för drivkrafter.

Vi utnyttjar parameterspecificeringen (se sid 16).

Marknad

Statistik från 1984 visar att den globala vätekonsumtionen var c.a 42 Mton. Av detta användes c:a 7 Mton som energibärare.

Priset på väte är beroende av valet av råvara, primär energikälla, kapitalkostnader o.s.v. De kostnadsuppskattningar som gjorts för större system är osäkra. Vi nöjer oss med att de t.v. är väsentligt högre än alternativen, främst fossila bränslen. Av intresse att notera är att naturgas ger den bästa ekonomin för väteframställning. Samtidigt skulle ett naturgassystem kräva stora satsningar på infrastruktur av liknande slag som för väte. Naturgas i stor skala bereder väg för en framtida väteekonomi.

Tillgången på väte är obegränsad.

Anläggningsleverantörer finns i flera länder. Genom vätets begränsade användning finns relativt få leverantörer. Om marknaden växer innebär det att en ny stor industrisektor skulle etableras.

Informationen om väte är begränsad till specialister. I den omfattande energidebatten har väte knappast nämnts annat än som råvara i s.k. fusionsreaktorer. Den tekniken synes dock vara ännu mer avlägsen än traditionell väteteknik.

Politik

Väte har inte uppmärksammats speciellt av det politiska systemet. Staten stödjer forskning och utveckling på området. Den svenska forskningen är emellertid blygsam i jämförelse med t.ex. USA och Japan. Energipolitiken har under lång tid varit svårförutsägbar.

Miljöpolitiken kommer med stor sannolikhet att spela en allt större roll. Ekonomisk tillbakagång kan tillfälligt bromsa insatser på området, men knappast stoppa utvecklingen helt. Under de kommande 20 åren ställs frågan på sin spets. Fossila bränslen kommer att vara billigast under lång tid, om inte miljökraven omsätts i priser på produkterna. Omläggning av energisystemen blir utomordentligt kapitalkrävande, men ger samtidigt utrymme för en hållbar utveckling och nya industrisektorer. Valet är i sann mening politiskt. Det kräver långsiktighet och internationellt samarbete.

Vi drar slutsatsen att den politiska faktorn blir den mest svårförutsägbara av alla parametrar, inför omläggningen av energisystemet.

Socialt

Det sociala systemet har förmodligen liten inverkan på väteekonomin. Med de investeringskostnader, som ser ut att bli aktuella kommer systemen att bli storskaliga och därmed vara ett samhällsintresse.

Teknik

Tekniska förutsättningar har berörts i korthet tidigare. Det pågår en intensiv utveckling på några områden särskilt bränsleceller. Forskningen kring framställning är också betydande. Flera försök har genomförts eller pågår med fordon i stadstrafik. Målen för projekten är att hitta kostnadseffektiva och säkra lösningar.

Det finns teknik färdig för alla delar i ett väteenergisystem. Lösningarna är dock för dyra i jämförelse med de alternativ som står till buds. Investeringsbehoven blir stora både i utveckling och anläggningar. Som framgår nedan måste riskkostnader vägas in redan från början. Väte är ingen ofarlig lösning på energiproblemet.

Miljömässigt har väte stora fördelar. Vid användning blir föroreningarna små. Rent väte som förbränns med rent syre ger vatten som avfallsprodukt. Vid förbränning med luft bildas en del kväveoxider. Emellertid måste vi ta med utgångsmaterialet, när vi bedömer miljöpåverkan. Utgår vi från kol, naturgas eller olja får vi miljöproblemen vid tillverkningen. Långt fram kan vi dock skönja en möjlig väg, där solenergi blir huvudsaklig primärkälla. Då finns förutsättningar att skapa ett helt miljövänligt system.

Kulturella förutsättningar

Väte är mest känt hos allmänheten, som ett mycket brännbart ämne. Det bäddar för motstånd mot att bygga ut väteekonomin i stor skala. Vidare torde storskaliga lösningar bli de mest ekonomiska även i framtiden. F.n. tycks samhället utvecklas i en riktning, där småskalighet utgör ett värde både kulturellt och kommersiellt. Flexibilitet blir allt viktigare, för att klara sig i en snabb internationell utveckling. Exempel på detta finner vi framför allt i decentraliseringen av stora industrikoncerner. Organisationsformer som "mager produktion", "nätverk" o.dyl. pekar i samma riktning. Det går naturligtvis inte att säga, om detta är stabila trender eller tillfälliga övergångslösningar. Däremot kan de få en kulturell konsekvens, som yttrar sig i motstånd mot storskaliga system överhuvudtaget. Motsvarande har noterats i kärnkraftsdebatten.

Infrastruktur

Det finns ingen infrastruktur för väte utanför de industrier, som själva tillverkar och utnyttjar väte. Väteekonomin kräver massiva investeringar i lagringskapacitet, transportsystem och distributionssystem. Här har vi det viktigaste skälet till att en eventuell väteekonomi kommer att passera flera stadier. Varje stadium bidrar med en bit av infrastruk-

turen t.ex. påfyllningsstationer för fordonsbränsle eller rörsystem för gastransport.

Sammanfattning

Vi ser att för väteekonomin talar miljöskäl och tillgång. Mot vätet talar behovet av investeringar samt driftskostnader. De ekonomiska faktorerna medför att man försöker hitta andra alternativ först. På lång sikt kommer miljöskälen att vara den starkaste drivkraften för väte.

Ett svenskt försök

Det kan här vara på sin plats att redovisa ett svenskt försök, Welgas (42).

Projektet inleddes i Härnösand, som ett led i jubileumsfirandet 1985 och pågick till mars 1987. Projektet avsåg att demonstrera energiflödet i ett småhus med vind som primärenergi och el och väte som energibärare. Huset försågs med utrustning för det samt ackumulatortank och värmepump. Allt länkades samman i ett energisystem. I planerna ingick även att driva husets bil med vätgas, vilket realiserades till viss del. Försörjningen gick inte att upprätthålla som man tänkt, varför huset kopplades till det allmänna elnätet. Dessutom anskaffades en stor del av vätet från en utomstående leverantör.

Projektet fyllde sin funktion som demonstrationsanläggning och gav Härnösand välbehövlig PR. Resultaten blev av många orsaker sämre än väntat och huset har byggts om till traditionell standard. Vi belyser analysen av drivkrafter med Welgas som praktikfall.

Marknad

Kostnaderna blev höga. Kalkylerna bekräftar intrycket att småskalig tillämpning ännu är fjärran. Systemet blir komplext och fordrar t ex hydridlagring, d.v.s. absorption i metall, av säkerhetsskäl.

Politik

Projektet fick stöd av många bidragsgivare från industri, stat, kommun och enskilda. Stödet splittrades upp på många skilda, öronmärkta poster, vilket i förlängningen blev för svagt för att upprätthålla ambitionsnivån. Exemplet visar att denna teknik inte prioriteras av de viktigaste intressenterna.

Socialt

Uppkomsten och genomförandet av projektet tyder på beroende av eldsjälar. Förankringen i omgivningen kan inte utläsas av projektrapporten. Som jubileumsprojekt fyllde projektet sin uppgift.

Teknik

Flera utrustningsenheter fungerade dåligt eller inte alls. Gaslagringsproblemet fick en tydlig belysning. Trots hög kostnad räckte inte investeringen för att ge tillförlitlig drift av lagringsenheten under hela projektet. Slutsatsen är att tekniken visserligen existerar, men är svårtillgänglig och lätt att störa.

Kulturella faktorer

Miljöengagemang och behov av lokal uppmärksamhet bidrog till att sätta igång och fullfölja projektet.

Infrastruktur

Anskaffning och uppsättning av systemet drog höga direkta och indirekta kostnader. En del av kostnaderna visade sig i form av sänkt ambitionsnivå och ofullständig uppföljning. Detta är en följd av obefintlig eller dåligt utbyggd infrastruktur. Något tillspetsat innebar varje anskaffning ett mindre delprojekt inom projektet. Det visar å andra sidan att potentialen för effektivisering och kostnadssänkning är mycket stor.

Bäst fungerade anslutningen till det allmänna elnätet och anskaffning av gas från utomstående. Det ger en fingervisning om enklare metoder att inleda en utvecklingsprocess. Går det att starta från en fungerande infrastruktur betyder det besparingar både av tid och pengar.

Sammanfattning av Welgas-försöket

Projektet styrker de antaganden och påståenden som redovisats. Brister i genomförandet minskar dock värdet av jämförelsen. Den tydligaste slutsatsen kan vi dra av komplexiteten i systemet. Den visar att endast storskaliga lösningar är realistiska under överskådlig tid. För att ändra på det fordras en teknisk utveckling som gör varje komponent

- enklare att hantera
- billigare att anskaffa och driva
- säkrare i sitt grundutförande

Risk och säkerhet

Vätets historia är dramatisk. Några av de mest spektakulära olyckorna som inträffat, Hindenburgkatastrofen 1937 och Challengerkatastrofen 1986, berodde på väte. I industrier som använder väte har man följt statistiken. En numera gammal undersökning visade att det i genomsnitt inträffade en brand var 11:e månad i varje anläggning. Undersökningen baserades på 29 tillverkningsanläggningar för ammoniak. Orsaken var i första hand läckage.

Vätgas är lättantändlig och bildar explosiva blandningar med luft. Eftersom den bl. a. är lättflyktig läcker den lätt ut.

Flytande väte fordrar speciell hantering. Värmeöverföring från omgivande medium, oftast luft, medför förångning och tryckökning med åtföljande krav på ventilation och isolering. Flytande väte kan även kondensera syre ur luft, vilket utgör en explosionsrisk, om det droppar ner på en brännbar yta.

Väte medför normalt inga hälsorisker. Däremot förekommer i vissa processer toxiska ämnen, som alltså måste räknas in i systemet. Flytande väte är självfallet mycket farligt för människor.

Material som utsätts för väte påverkas genom försprödning. Problemet är av komplex natur och ännu inte helt utforskat. Resultatet av försprödningen kan bli sprickbildning, brott och liknande, med läckage som följd.

Trots att väte används normalt i industrin förekommer olyckor relativt sällan. Hanteringen anses som säker. Skyddsåtgärder fungerar. De personer som hanterar väte har utbildats för det och är väl medvetna om riskerna. En väteekonomi skulle föra ut vätet bland gemene man. Att risknivån stiger är lätt att inse.

För att i någon mån förstå var riskerna kommer att uppstå skall vi gå igenom de problem som identifierades i (54) med avseende på väte som energibärare.

Processrelaterade problem

Okoordinerade beslutsprocesser

Om vätesamhället byggs upp i steg enligt ovanstående beskrivning kommer en mängd beslut att fattas under en lång följd av år. Uppenbarligen blir det svårt att koordinera beslutsprocesserna i ett sådant förlopp. I första hand gäller det lagring och transporter. Problemet påminner om gasoltransporterna under 90-talet som växte snabbt till följd av investeringar runt om i landet.

Målkonflikter

Väteekonomin visar tydligt konflikten mellan ett miljövänligt alternativ och olycksriskerna.

Övergång från insikt till handling

I ref (6) påpekas att erfarenheterna hittills inskränker sig till små utbildade grupper, som arbetar under väl kontrollerade former. Väteekonomin fordrar riskmedvetande hos en större allmänhet. Hur mycket, beror på val av teknologi och distributionssätt. En stor kommersiell användning kommer också att medföra krav på underhåll av utrustning. Materialpåkänningar är, som påpekats, stora. Om inte nya material utvecklas kommer många företag att behöva kunna hantera åldrande utrustning. I kombination med den kostnadspress, som blir nöd-

vändig leder detta lätt till svårigheter. Oavsett vilken teknologi som realiseras blir komplexiteten hög i hela systemet.

Mänskligt beteende

Statistiken över bränder i ammoniakindustrin kan tolkas som, att vardaglig användning medför att uppmärksamheten minskar. Det är lätt att föreställa sig vad detta innebär, om väte blir ett normalt bilbränsle eller uppvärmningsbränsle i småhus.

Förutsägelser

Svårigheten att förutsäga händelser är naturligtvis lika stor i detta fall som i andra. Vi har emellertid underlag , dels genom den långvariga väteanvändningen, dels genom att studera andra gasers användning. Riskerna är också ganska väl kända med undantag för teknologier i utveckling t.ex. termokemisk framställning av väte. Tidiga riskanalyser och en stegvis utveckling ger därför bättre möjligheter än vad som varit gängse. I jämförelse med ex.vis kärnkraften är situationen helt annorlunda.

Tempo

Hastigheten i utvecklingen får sin betydelse när systemen väl börjar installeras. Moderna organisationsformer lämpar sig dock mindre väl för att hantera komplexa system som väteekonomin. Sannolikt uppstår de största riskerna i användningsledet. Där kan utvecklingen ta vägar som inte styrs av energileverantörerna. Erfarenheterna från utveckling av vägfordon och fartyg talar inte för att man alltid kommer att underordna sig säkerhetskraven.

Utveckling i små steg

Även detta problem torde bli störst i användarledet. Ständiga förbättringar och ombyggnader av fabriker i liten skala kommer även i framtiden att vara nödvändiga, men kan försämra säkerheten.

Överlagrade förändringsprocesser

Vi exemplifierar detta problem med materialutvecklingen. För att nå bästa möjliga miljöeffekter kommer man att sträva efter att använda så rent väte som möjligt. För att materialen skall hålla förutses en intensiv utveckling som baseras på vunna erfarenheter. Systemet kommer efterhand att innehålla många olika slags material med olika motståndskraft.

<u>Situationsrelaterade problem</u>

Arbetets individualisering

Mager produktion är den senaste benämningen på den pågående rationaliseringsprocessen. Energiproduktion är en typisk processindustri med mycket hög automatiseringsgrad. Vi kommer i alla led att få en

strävan mot personalsnåla verksamheter. Störningar kan få stora effekter. Väte kan knappast på samma sätt som el byggas ut med alternativa distributionsvägar.

Situationers sällsynthet

Olycksriskerna med väte är så uppenbara, att systemen kommer att byggas upp med stora säkerhetsmariginaler. Vi förutser det framför allt i fråga om framställning och lagring. Det medför att de kommer att fungera mycket säkert under nästan hela drifttiden. De få olyckor som inträffar riskerar att ställa människor inför oväntade situationer. Största riskerna återfinner vi i transport och användarleden. Konsekvenserna torde dock vara lättare att förutsäga, då det handlar om brand och i sällsynta fall explosioner.

Informationskomplexitet

Återigen hänvisar vi till den användning som finns. Specialutbildad personal och höga säkerhetskrav medför att man undviker allvarliga olyckor. I ett utbyggt system kommer fler människor att behöva tolka information i form av instruktioner, mätvärden och händelserapportering. Beträffande tillverkning och lagring förutser vi att systemen kommer att vara mycket mer utvecklade än idag och lättare att utnyttja. Det återför problemet på det föregående (sällsynta situationer).

Riskbegreppet

Sannolikheten för att en olycka skall inträffa på en viss plats i ett vätesystem, kommer att vara i det närmaste omöjlig att beräkna. Däremot är konsekvenserna väl kända. Den mänskliga upplevelsen av risk borde också gå att beskriva med någorlunda precision. Den subjektiva bedömningen av sannolikhet tycks ibland påverkas av hur man beskriver konsekvenserna. Debatten om gasoltankars placering (56) tyder på det. Utbyggnaden av ett vätesamhälle leder knappast till någon stor debatt. Åtminstone inte i nivå med kärnkraftdebatten. Stegvis utbyggnad tar dessutom så lång tid att intresset hinner svalna hos debattörerna. Utan en mycket genomtänkt förordning utvecklar enskilda företag teknologin efter sina bedömningar. De kommer med säkerhet att vara olika.

Trubbig information

Informationsproblemet är mycket stort redan inför förändringar som sker vid ett enda tillfälle. Vid högertrafikens införande i Sverige 1967 informerade man i två år via alla tillgängliga kanaler, press, radio, TV, skyltning, information till hemmen o.s.v. Trots detta fanns det individer som den 3:e september, när övergången skedde, inte visste vad som stod på. Det ger en bild av hur svårt det är att nå ut. Att informera om faror under loppet av 20 år måste ske på ett annat sätt. Om inte informationen integreras med utbyggnaden och riktas till de målgrupper som berörs, så kommer många att förbli ovetande. Det riskerar att öka sannolikheten för och förvärra konsekvenserna av en olycka.

Utvärdering av åtgärder

Detta problem är kanske mindre beträffande väte, eftersom erfarenheten är stor. Det bör vara möjligt att simulera förlopp, som skulle kunna ha inträffat, men aldrig gjorde det. Vi får naturligtvis reservera oss för ny teknologi, som ännu inte prövats i större omfattning.

Missbruk och stimulantia

Problemen är av generell karaktär och inte speciella för väteanvändning.

Kultur

Olycksförväntningar skiljer sig mellan olika länder. Internationell statistik visar att Japan har lägre olycksfrekvens av skäl, som måste hänföras till kulturen. I Sverige har vi höga kostnader både för räddningsverksamhet och skador. Det mönstret utgör inget bra underlag för en väteekonomi. Vår föreställning om att olyckor är ofrånkomliga skulle behöva bytas mot t.ex. att "vi förväntar oss inga olyckor och det är vars och ens skyldighet att se till att det inte inträffar någon". Ett sådant synsätt skulle sannolikt öka säkerheten mer än många extra säkerhetsinstser på produktionsplatserna.

Språket

Riskkommunikation bygger på att mottagaren förstår sändarens språk. Svenskar har ibland svårt att förstå andra svenskar. I en internationaliserad värld växer problemen. Energisystem med inbyggda risker måste ha någon form av standardiserad beskrivning, för att alla skall uppfatta den.

Att öppna en kran istället för att stänga den är lätt, om man inte kan läsa instruktionen. Fel som uppstår i samband med underhåll beror ofta på språkliga kommunikationsbrister.

Metoder och analys

Riskanalys av klassiskt märke leder till att vi identifierar möjliga problem, som vi värderar och löser. Det förutsätter att det system som analyseras är överblickbart (35) Storskaliga energisystem faller utanför den ramen. De måste delas upp i mindre delar som behandlas var för sig. En sådan indelning har vi gjort ovan. I ett verkligt system måste vi gå djupare och studera varje enskilt delsystem t.ex. en anläggning eller transportanordning. Vätets egenskaper medför att vi måste se noga på förbindelserna mellan delsystemen. Överföring mellan två förvaringsutrymmen torde höra till det mest centrala att kartlägga. Om många människor skall hantera utrustning, fordras att analysmetoden är enkel och kan utföras på plats. Det räcker inte med metoder, som endast kan utnyttjas av kompetenta tekniker. Vi exemplifierar detta med ett antal FoU-insatser som föreslogs av Göran Carleson 1980:

- Utvärdering av konsekvenserna av stora utsläpp av vätgas eller flytande väte
- Undersökning av processen då vätgas brinner i luft och syre
- Framtagning av flamspärrkriterier och utveckling av tillförlitlig utrustning
- Utveckling av billiga och tillförlitliga vätedetektorer för användning i hushål och industri
- Utvärdering av luktämnen och belysningsmedel, som underlättar upptäckt av läckage och flammor
- Utformning och test av förbättrad vätgastätning
- Utveckling av bättre brandskyddsutrustning
- Systematisk utvärdering av vätesprödhet hos praktiskt använda konstruktionsmaterial

Statistik

De undersökningar som genomförts bestyrker att statistik samlas in för speciella ändamål. Den som finns f.n. är närmast av vetenskaplig natur och går knappast att använda i syfte att planera för ett vätesamhälle. En viss ledning skulle det ge att jämföra med hanteringen av andra gaser i första hand gasol. Vi skulle då fråga

- Hur många olyckor inträffar?
- Vilka konsekvenser har uppstått?
- Hur ofta sker hanteringsfel med eller utan olycklig utgång?
- Var sker hanteringsfelen?
- Vad har förebyggande och skyddsåtgärder gett för resultat?

Summering

Vi ställer nu frågan om problembeskrivningen täcker vad som behövs för att fördjupa analysen. Vart leder det i fråga om vårt huvudproblem nämligen att ta riskhänsyn i samhällsutvecklingen?

Vi inleder med att se på en enskild situation. För enkelhets skull väljer vi överföring mellan två kärl med en mänsklig operatör. Om vi beskriver situationen som ett system med S. Beers modell (35) erhåller vi följande nivåer:

1 Den fysiska överföringen av väte från ett kärl till ett annat
2 Styrning av påfyllningsförloppet
3 Koordinering med omgivande delsystem
4 Kommunikation med omgivningen
5 Överordnad styrning och kontroll

Vi inser att för att systemet skall fungera helt säkert, så måste

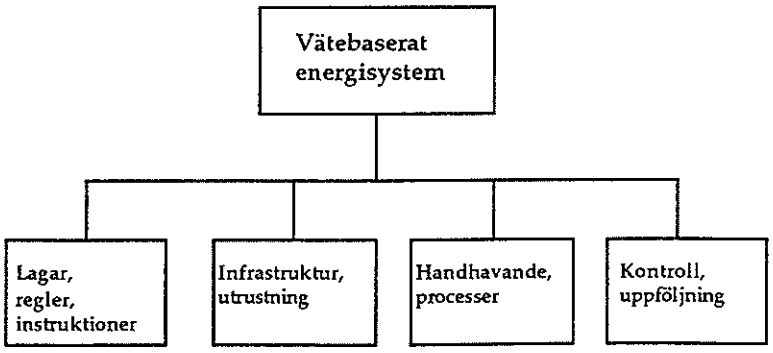
- utrustningen fungera
- människan kunna
  - genomföra arbetsmomenten
  - kontrollera om fel uppstår och åtgärda dem
  - kommunicera med omvärlden via sinnesorgan och andra kanaler
- instruktioner och kontrollrutiner vara relevanta, fungerande och ha förståtts av operatören
- systemet kunna motstå en omfattande störning

Förebyggande åtgärder fäster i allmänhet störst avseende vid den första punkten. Orsaken till detta är närmast kulturell. Vi förlitar oss på att teknik och utbildning löser problemen. Så förhåller det sig möjligen på ett teoretiskt plan. Raden av olyckor, som beror på felhandling trots utbildning, talar emellertid ett annat språk. Personalen i Harrisburg var inte outbildad. Konstruktionen var också utformad för att klara svåra situationer Den troskyldige anser att ännu mer utbildning hade löst problemet. Möjligen hade det räckt i Harrisburg. Generellt gäller dock att dynamiska system innehåller möjligheter som inte är kända (35).

Utbildning och konstruktion täcker därmed inte alla situationer som kan uppstå. Vi har då att välja på att släppa på säkerhetskraven eller bygga in funktioner, som gör att det tål kraftiga störningar och ger operatörerna tid och möjlighet att handla.

Vi generaliserar exemplet och transformerar det till en hierarkisk systemstruktur.

Fig. 23



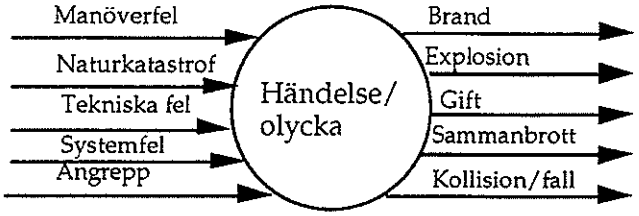
Bilden begränsas till ett stationärt förhållande. Det går givetvis att komplettera den med delsystem för utveckling.

Vi drar slutsatsen att riskhänsyn vid introduktion av ett nytt system måste inbegripa samtliga delsystem. Vi bör då påminna oss Ashbys lag (35) som säger att kontrollsystemet måste ha samma frihetsgrader, som det kontrollerade systemet.

Vi förutser att lagar och infrastruktur kommer att förberedas väl. Det finns tradition och fungerande organisation både inom myndigheter och industri. Svårigheterna uppstår i handhavande och kontroll, som berör många människor, som dessutom växlar med tiden. Den enda period då det finns tillfälle att nå tillräckligt många är skoltiden. Skall fysik- och kemiundervisningen i skolan behandla riskfrågor och skapa riskmedvetande? Några timmars information av räddningstjänsten förslår knappast, även om det är bättre än ingenting.

Olycksorsaker uppstår enligt figuren

Fig. 24



Vi har hittills inte sagt något om angrepp. Enligt (54) växer risken för sabotage och terror sakta men säkert i hela världen, även i Sverige. Svenska Brandförsvarsföreningen har undersökt frekvensen av anlagda bränder och anser att de ökat kraftigt på senare tid (61). Ett säkert energisystem måste stå emot eller vålla minimala skador vid angrepp. Den uppfattningen ger ingen omedelbar ledning för hur systemet skall byggas upp. Stora enheter ger bättre ekonomiska möjligheter till skyddsinsatser, men blir mera sårbara om angreppet lyckas. För små enheter gäller motsatsen. Vissa kombinationer måste prövas mycket noggrant innan de får anläggas. Vätgasframställning med kärnkraft som primär energikälla och termokemiska anläggningar är två exempel på det.

Kommunala exempel

För att ge en smula stadga åt spådomarna i energiavsnitten har vi intervjuat några kommuner, Arvika, Avesta, Norberg och Stockholm, om deras energiplaner. Kommunerna är valda som exempel och inte för att ge statistisk säkerhet. Stockholm representerar stora kommuner och Norberg små. Arvika och Avesta är två medelstora kommuner med relativt skilda förutsättningar. Innan vi lyssnar till kommunerna erinrar vi oss prognosen i långtidsutredningen, LU90.

Långtidsutredningen

1970- och 80-talen medförde stora förändringar beträffande kommunerna och energin. Engagemanget ökade betydligt med bl a fjärrvärmeanläggningar och uppköp av små eldistributionsföretag och -föreningar. Oljekriserna utlöste en intensiv, framgångsrik övergång från olja till andra energislag. 1977 fick kommunerna ett lagstadgat ansvar för energiplaneringen.

Prisfallet på fossila bränslen i mitten av 1980-talet skapade ekonomiska svårigheter för många kommuner, som byggde upp fastbränsleanläggningar med inhemska bränslen.

Svårigheterna i det förflutna ger en vink om vad som väntar i framtiden. Starka politiska krafter verkar för att energipolitiken skall omgärdas av följande restriktioner:

- kärnkraften avvecklas
- vattenkraften byggs endast ut i begränsad omfattning
- koldioxidutsläppen skall vara oförändrade eller helst minska
- kväveoxidutsläppen skall minska

Som vi sett är detta möjligt, men ännu så länge till höga kostnader. Man skulle förvänta sig att scenariot bidrog till en intensiv aktivitet, eftersom omställningen dels är stor, dels tar lång tid. Det är svårt att spåra en sådan aktivitet. Energiinvesteringarna, som var stabila under 1970-talet, steg brant under 1980-talets första år för att sedan sjunka med mer än 50 %. LU90 förklarar detta med ovissheten om priser och politik. Prognosen pekar på en måttlig satsning på kraftvärmeverk och fjärrvärme samt en kraftig utbyggnad av naturgasnätet. Det sistnämnda har stannat av under senare år. Moms på energi minskar konkurrenskraften för fjärrvärme, vilket gör prognosen än mer osäker.

Den ekonomiska situationen i Sverige 1992 och 93 talar inte för djärva nysatsningar på energiområdet. Lågkonjunkturen leder till minskad förbrukning och knapphet på investeringskapital. Kommunerna har bekymmer med att finansiera den löpande driften. Ytterligare en faktor att ta med är konkurrensen från andra områden med investeringsbehov. Problem med kommunala VA-system riskerar att bli akuta under kommande decennier.

Vilka slutsatser medför resonemanget? En sannolik utveckling är att en eller flera av restriktionerna ovan skjuts på framtiden. En annan är att kommunala energiverk och bolag säljs till större företag. Särskilt hårt tryck uppstår på elområdet, när elmarknaden släpps fri i EG/EES-området.

Stockholm

Stockholm Energi drivs som aktiebolag, men under självkostnadsprincipen. Verksamheten är mycket omfattande med el- och värme. I kraftbalansen ingår 50 % kärnkraft. Stockholm Energi äger andelar i Forsmarks och Oskarshamns kärnkraftanläggningar. Man har också investerat stort i Värtanverket (kol) och Högdalenverket (avfall).

Inför framtiden redovisas bl a följande förutsättningar

- Oljan ökar sin andel i industrin och för elgenerering, men inte för uppvärmning.
- Enskilda energikällors marknadspotential hänger direkt ihop med skatteutvecklingen. Utan skatter skulle kol och olja slå ut andra energikällor.
- Biomassa kommer att finna naturliga marknadsnischer.
- Torv går tillbaka om kväveoxidskatten ökar.
- Elprisvariationer mellan länderna minskar, när näten kopplas ihop och ger utrymme för handel med el.
- Kärnkraften avvecklas inte i förtid, men det blir ingen fortsatt utbyggnad.

För egen del ser inte Stockholm Energi några stora förändringar under 90-talet utöver vissa kompletteringar med t. ex. fler värmepumpar.

Risk och säkerhet ägnas en växande uppmärksamhet. Medvetandet ökar t ex om terroraktioner. Tillträdeskraven runt produktionsanläggningarna skärps.

Man har också identifierat målkonflikter, t ex avseende placering av centrala kontrollrum. Placering högt upp skyddar bäst mot sabotage, medan underjordsplacering är säkrast i krig.

Avesta

Avesta Energi är ett kommunalt bolag som samarbetar med Stockholm Energi.

Man levererar värme från egna värmeverk med avfall, biomassa, torv och kol som energikällor. Mindre volymer levereras från gasol- och oljepannor.

Skatteförändringar har minskat intresset för gasol och gjort oljan mera attraktiv.

El köper man från flera leverantörer, från bl a Stockholm Energi som köpt Avesta AB:s krafttillgångar.

Sopförbränning utför man för flera kommuners räkning.

Värmerörelsen ger sämre lönsamhet än eldistributionen. Här står man också inför större investeringar och underhållsinsatser, eftersom bränslena ger slitage- och korrosionsproblem.

I slutet av 1990-talet aktualiseras flera större investeringar. Sannolikt fortsätter man inriktningen på avfall och biobränslen. För det talar den allmänna politiska utvecklingen och den kompetens man arbetat upp.

Det skulle även vara fördelaktigt med ett kraftvärmeverk som skulle stå klart omkring år 2000.

Arvika

Arvika Energi sysslar i huvudsak med eldistribution. Värmeleveranser har man inte haft. C:a 10 % av leveranserna (18 Gwh) hämtas från egen vattenkraft. Övrig råkraft köps från en leverantör, Gullspångs kraft.

Man installerar en deponigasanläggning för leverans av el och värme.

Arvika ligger nära Norge och samarbetar med norska kommuner i andra frågor. Det ligger nära till hands att man i framtiden, med en fri elmarknad kommer att importera kraft från Norge. Man förutser svårigheter att försörja marknaden med el om kärnkraften avvecklas. I kommunen har man diskuterat att investera i ett kraftvärmeverk, om man beslutar sig för att bygga upp ett fjärrvärmenät.

I kommunen finns flera värmepumpar. Man har även diskuterat att anlägga några fastbränslepannor och driva i egen regi.

Norberg

Norberg är en befolkningsmässigt liten kommun med stor yta. Topografin är bergig. Tillsammans skapar detta en speciell situation främst för värmeförsörjningen. Det finns flera mindre värmepumpar i kommunen. Bl.a. utnyttjas värme från vatten i gruvhål. I kommunen finns ett företag som tillverkar briketter. Briketter används också i en fjärrvärmecentral. Norberg lämpar sig annars illa för fjärrvärme.

Eldistribution sköts i huvudsak av Norbergs elverk, som köper all kraft från utomstående leverantörer. I några av ytterområdena svarar Avesta energiverk och Fagersta energiverk för leveranserna. Man räknar med en forsatt ökning av elkonsumtionen, men inga dramatiska förändringar. Hur framtiden gestaltar sig hänger på politiska beslut.

Tidigare planer har främst riktats in på hushållning, oljeersättning och flexibilitet i fråga om bränslen.

Sammanfattning av kommuninterviuerna

Mot bakgrund av de problem som kommunerna står inför, beträffande energiförsörjningen, vore ett rimligt antagande, att man förde en intensiv diskussion internt och med statsmakten. Detta märks inte mycket av i intervjuerna. Snarare ser vi en avvaktande hållning inför en genuint osäker situation. Samma sak gäller Svenska kommunförbundets prognoser i LU90. Möjligen tar man en andhämtningspaus efter insatserna under 1980-talet. I början av decenniet investerades stora belopp i nya anläggningar i avsikt att minska oljeberoendet. Man lyckades bra. Målet för nästa etapp kan inte beskrivas lika tydligt. Alternativen är inte heller klara. Intervjuerna ger vid handen att planeringsförutsättningarna varit mycket instabila. Välgrundade beslut vid ett tillfälle har visat sig felaktiga kort tid efteråt. Under sådana omständigheter drar sig investerarna tillbaka. Om vi försöker identifiera några drag i utvecklingen noterar vi

- en fortsatt satsning på bioenergi och värmepumpar
- återhållsamhet med elinvesteringar, grundad på att kärnkraften blir kvar och att en fri elmarknad etableras
- ansträngningar att höja säkerheten vid produktionsanläggningarna

Detta stöder några av antagandena i det föregående, medan andra lämnas obesvarade.

Prövning av modeller/problem

Vilka slutsatser drar vi av tillämpningen på energikällorna? Inledningsvis poängterar vi att analysen är "manuell" och behöver fördjupas med mer reella data från resp. område. Undersökningen av oljemarknaden med samhällsmodellens hjälp tillsammans med de bilder som beskrivningarna av respektive energislag ger, pekar på att modellerna fungerar. Vi ser att samhällsmodellen måste specificeras och förtydligas med parametrar som går att mäta. System/processmodellen har vi prövat tidigare och konstaterat att den lämpar sig väl som analysinstrument. Här gäller också att tillämpningen måste anpassas för att inte bli alltför generell.

Ett sätt att fördjupa modellerna vore att utarbeta en datormodell som gav möjlighet att

- välja parametrar
- väga parametrar mot varann
- ändra styrkan i parametrarna så att det gick att göra känslighetsanalyser

I analyserna har vi betraktat varje område uppifrån d.v.s. med samhället eller hela systemet som utgångspunkt. I avsnitten om risk och säkerhet har helhetsperspektivet konfronterats med uppgifter som ursprungligen härstammar från inträffade olyckor eller riskanalyser på mikroplanet. Vi saknar en väldefinierad metod för att från en systembild skapa en motsvarande riskbild. De problem som identifierades i (54) (se sid. 5) formulerades på samma sätt som i analyserna ovan. Genom att koppla systemaktiviteter till risker bör det vara möjligt att utveckla en metod, som ger insikter i riskbilden och underlag för förebyggande verksamhet. Ambitionen skall inte vara att erhålla fullständiga beskrivningar. Utvecklingsprocesser av det slag vi talar om, innehåller oförutsägbara moment. Det finns alltid en rest som inte låter sig fångas i enkla modeller. Inte minst gäller det människors aktiviteter. Ashbys lag tjänar som en god bas att utgå ifrån vid konstruktionen (35).

Vi ger några exempel på den nytta en datoriserad modell skulle kunna bidra med.

Exempel.

- Biobränsleanläggningar kan förläggas på olika ställen som bestäms av ekonomi, opinioner, infrastruktur och politiska beslut. Förläggningen och storleken påverkar trafik, lagring osv vilket ger en uppfattning om trafikrisker, brandrisker o.s.v. Det skulle gå att producera ett underlag för kommunal planering.

- Datoranvändning skulle även göra det möjligt att lägga samman effekter för större områden d.v.s. öka förståelsen för effekter utanför den egna kommunen.

Modeller av det tänkta slaget skulle kunna förbättras fortlöpande t.ex. med att "den mänskliga faktorn" preciserades efterhand som nya undersökningar tillför ny information. Härigenom skapas också underlag för frågor, som bara kan besvaras genom fortsatt forskning.

Vi sammanfattar studien i följande slutsatser:

- De använda modellerna är relevanta som beskrivningshjälpmedel

- Analysen stärker uppfattningen att de problem som identifierats är verkliga i en generell mening. Däremot räcker inte underlaget för att bestämma deras vikt i det enskilda fallet. Inget problem har gått att eliminera. Troligen har de växlande betydelse i och för de situationer som uppstår.

- En komplett beskrivning av möjliga risker fordrar en översättning av systemaktivitet till risker. Fullt ut torde det vara genomförbart endast i enkla fall. Olycksstatistik hjälper till att finna delarna.

- Identifierade risker måste värderas i detalj med normal riskanalysteknik. Inträffade olyckor och incidenter tillför värdefull information, om de utreds tillräckligt noggrannt.

Nästa steg

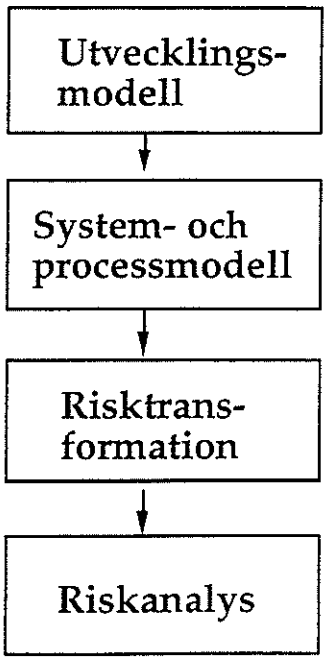
Planen för studien "Riskhänsyn i samhhällsutvecklingen" omfattade ursprungligen fyra steg

1. Problemformulering
2. Analys av tekniska risker
3. Analys av aktörsperspektiv
4. Åtgärder och förslag

I steg 2, dvs denna studie har vi prövat några modeller med energi som exempel på tekniska system. Aktörsperspektivet har i någon mån kommit in naturligt. Själva beslutsprocessen och därtill knutna riskhänsyn har emellertid inte berörts. Exemplen pekar ut vilka kriterier som gäller och viss utsträckning deras tyngd. Riskhänsyn tycks spela en marginell roll.

Analyserna pekar på en lucka i riskhanteringen, nämligen sökning av risker i framtida system. Vi kallar det för risktransformation. En metod för det bör leda till de mer detaljerade problem, som behandlas i avsnittet om Vätesamhället. Riskanalys av traditionellt snitt får då en naturlig position i en metodkedja som kan skisseras enligt följande

Fig. 25



System och process skall fattas i vid mening och inkludera såväl människor som tekniska system.

- Datoranvändning skulle även göra det möjligt att lägga samman effekter för större områden d.v.s. öka förståelsen för effekter utanför den egna kommunen.

Modeller av det tänkta slaget skulle kunna förbättras fortlöpande t.ex. med att "den mänskliga faktorn" preciserades efterhand som nya undersökningar tillför ny information. Härigenom skapas också underlag för frågor, som bara kan besvaras genom fortsatt forskning.

Vi sammanfattar studien i följande slutsatser:

- De använda modellerna är relevanta som beskrivningshjälpmedel

- Analysen stärker uppfattningen att de problem som identifierats är verkliga i en generell mening. Däremot räcker inte underlaget för att bestämma deras vikt i det enskilda fallet. Inget problem har gått att eliminera. Troligen har de växlande betydelse i och för de situationer som uppstår.

- En komplett beskrivning av möjliga risker fordrar en översättning av systemaktivitet till risker. Fullt ut torde det vara genomförbart endast i enkla fall. Olycksstatistik hjälper till att finna delarna.

- Identifierade risker måste värderas i detalj med normal riskanalysteknik. Inträffade olyckor och incidenter tillför värdefull information, om de utreds tillräckligt noggrannt.

Nästa steg

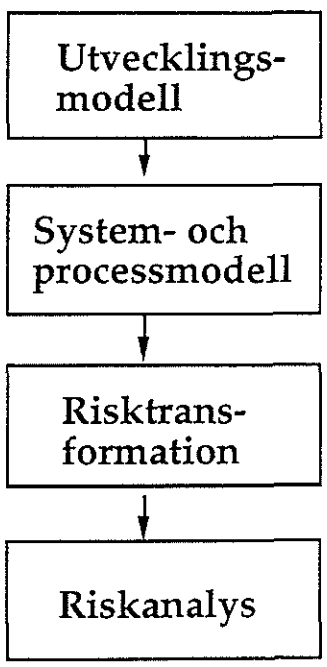
Planen för studien "Riskhänsyn i samhhällsutvecklingen" omfattade ursprungligen fyra steg

1. Problemformulering
2. Analys av tekniska risker
3. Analys av aktörsperspektiv
4. Åtgärder och förslag

I steg 2, dvs denna studie har vi prövat några modeller med energi som exempel på tekniska system. Aktörsperspektivet har i någon mån kommit in naturligt. Själva beslutsprocessen och därtill knutna riskhänsyn har emellertid inte berörts. Exemplen pekar ut vilka kriterier som gäller och viss utsträckning deras tyngd. Riskhänsyn tycks spela en marginell roll.

Analyserna pekar på en lucka i riskhanteringen, nämligen sökning av risker i framtida system. Vi kallar det för risktransformation. En metod för det bör leda till de mer detaljerade problem, som behandlas i avsnittet om Vätesamhället. Riskanalys av traditionellt snitt får då en naturlig position i en metodkedja som kan skisseras enligt följande

Fig. 25



System och process skall fattas i vid mening och inkludera såväl människor som tekniska system.

Tillvägagångssättet vilar på ett synsätt, som skulle kunna formuleras i generella antaganden av typen:

- All mänsklig aktivitet är förenad med risker
- Människan är en integrerad faktor i riskbilden
- Risknivån är till största delen bestämd av kulturella faktorer

Vi föreslår att nästa steg i studien delas upp i två avsnitt

1. Beslutsprocessen
2. Operatörer och allmänhet

Det första avsnittet bör av kontinuitetsskäl röra beslut avseende energisystem. Det andra bör omfatta dels en genomgång av några olyckor som utretts i detalj, dels en undersökning av hur människor, som oförskyllt hamnar i en hotsituation, agerar.

Referenslista

Titel	Författare/förlag	Beteckning
1. De glömda aktörerna	P O Hallin, Bernt Å Pettersson Liber 1986	Efn/AES 1986:1 ISBN91-38-09268
2. Energiforskning för framtiden	EFU 90 Allmänna förlaget 1989	SOU 1989:48 ISBN91-38-10367-2
3. Gasolboken	Statens Energiverk 1987:6 Allmänna förlaget 1987	ISBN91-38-09724-2
4. Kommunernas Energiplanering	Statens Energiverk 1986:12 Allmänna förlaget 1987	ISBN91-38-09554-8
5. Naturgas i mellansverige	Statens Energiverk 1987:5 Allmänna förlaget 1987	ISBN91-38-09715-x
6. Vätgas en framtida energibärare	Carl-Johan Österberg Allmänna förlaget 1987	Efn-rapport 25 ISBN91-38-09861-x
7. Svenska och internationella energimarknader	Kurt Wickman Statens Inst för byggnadsforskning	SB:44 ISBN91-7111-034-8
8. Bränsleceller en översikt av teknikläget	NUTEK 1991	Broschyr
9. Naturgasmarknaden i Västeuropa	Statens Energiverk 1989:R8 Allmänna förlaget	ISBN91-38-12317-7
10. Scientific American	Scientific American Inc. Sept.-1990	ISSN 0036-8733
11. Framtidens beredskap mot kemikalieolyckor	Statens Räddningsverk 1992	R61-098/92
12. Oil	John Cranfiled/David Buckman Priory press limited 1976	SBN86078 230 9
13. Torv i Sverige	Nämnden för energiproduktionsforskning 1977	ISBN 91-38-03578-2
14. Energiframtidsstudiernas metoder	Statens Energiverk 1991:R4 Allmänna förlaget	ISBN 91-38-12571-4
15. Den trettonde reaktorn	Tor Ragnar Gerholm Euro World 4 1990	Tidskrift AffärsMedia AB
16. Visioner om framtidens energisystem	Tor Ragnar Gerholm Vattenfalls årsskrift 1991	
17. Kärnavfallet	Anna Schytt SR 1990	
18. Framtid med kärnkraft	Bo Södersten (red) SNS Förlag 1991	ISBN 91-7150-402-8

Titel	Författare/förlag	Beteckning
19. Risker vid energi-produktion Konferensreferat	Lars Persson Naturvetaren nr 4 1988	Sveriges Natur-vetarförbund
20. Boken om atomåldern	John May Ordfront 1991	ISBN91-7324-363-9
21. Inherently safe technology	IVA-rapport 382 Ingenjörsvetenskapsakademin	ISBN91-7082-494-0 ISSN 0348-7393
22. Kärnkraften	Evelyn Sokolowski CDL Ingenjörsförlaget 1976	ISBN91-7284-085-4
23. Rösta nej!	Björn Kjellström, Per Kågeson Liber förlag 1979	ISBN91-38-0156-0
24. Energi och Framtid	Vattenfall Årsskrift 1991	
25. Energi för Europa	NORD 1991:52 Nordiska Rådet	ISBN91-88112-16-0
26. Is there a definitive answer	SKN report 53 1991 Allmänna förlaget	ISBN91-38-12655-9
27. Environmental Conse-quences of hazardous waste disposal	Ds 1991:57 Allmänna förlaget	ISBN91-38-10870-4 ISSN 0284-6012
28. Vår gemensamma framtid	Bertil Hägerhäll (red) 1988 Prisma	
29. Konkurrensneutral energibeskattning	SOU 1991:90 Allmänna förlaget	ISBN91-38-10902-6 ISSN 0375-250X
30. Information om energiskatter	Skatteförvaltningen 1992-10-27	Dnr 36505-93/302 Dnr 39117-92/301
31. Från Riksdag och Departement	Årgång 1992 Riksdagens Förvaltningskontor	
32. Moln över Kola	Yvonne Hanses, Richard Tellström Styrelsen för psykologiskt försvar SPF-Meddelande 126 1990	ISSN 0283-6327
33. Accidental nuclear war considered from the area of reliablitity of large technological systems	Bent Natvig 1990	Artikel
34. Allmänhetens syn på olycksrisker	Ann Enander 1990 Statens Räddningsverk	P21-054/90

Titel	Författare/förlag	Beteckning
35. Studie komplexitet	Akersten, Hermansson Statens Räddningsverk 1990	Rapport
36. Engineering in an age of anixiety	Alvin M. Weinberg 1990 Issues in science and technology Winter 1989-90	
37. Energi ur avfall	Statens energiverk 1986:6 Naturvårdsverket	ISBN 091-38-09453-3 ISSN 0281-6148
38. Kommunala konsekvenser av medlemsskap i EG	Svenska Kommunförbundet Kommentus förlag 1992	ISBN91-7344-864-8
39. Solenergi	Gösta Ehrensvärd ALBA IDÉ 1980	ISBN 91-7458-176-7
40. Solsverige 1992	Svenska Solenergiföreningen Larssons förlag 1991	ISBN 91-514-0251-3
41. Miljökonsekvenser av ny energiteknik	Byggforskningsrådet 1990	ISBN91-540-5253-X
42. Welgas - Vätgasprojektet vid Härnösands 400 års jubileum	Gunnar Wettermark Carina Johansson Allmänna förlaget 1987	Efn-rapport nr 27 ISBN91-38-09742-7 ISSN 0281-0301
43. Biobränslen för framtiden	Biobränslekommittén Allmänna förlaget 1992	SOU 1992:91 ISBN91-38-13163-3 ISSN 0375-250X
44. Emergency response planning and preparedness for transport accidents involving radioactive material	International atomic energy agency IAEA 1988	Safety series No 87
45. Energi för kommande generationer	Ingenjörsvetenskapsakademin IVA 1992	ISBN 91-7082-531-9 ISSN 1102-8254
46. Biobränslen i det svenska energisystemet, en modellstudie	Vattenfall UB 1991/33	ISSN 1100-5130
47. Biobränsle idag	VVS Tekniska Föreningen 1980	Konferensdokumentation
48. Kommunerna på 90-talet krav och restriktioner	Svenska Kommunförbundet 1990 Allmänna förlaget	ISBN 91-38-10563-2 ISSN 0375-250X
49. Balansprincipen	NUTEK 1992	ISSN 1102-2574
50. Energiläget 1992	NUTEK 1992	ISSN 0282-2539
51. Energiförsörjningen i Sverige	NUTEK 1992	Dnr 32-92-09255

Titel	Författare/förlag	Beteckning
52. Energiläget 1991	NUTEK 1991	ISSN 0282-2539
53. Energiläget i siffror	NUTEK 1991	ISSN 0282-2539
54. Riskhänsyn i samhällsutvecklingen Etapp 1	Urban Hermansson Statens Räddningsverk 1991	Rapport
55. ELSU 91	SOU 1991:94 Betänkande av elsäkerhetsutredningen	ISBN 91-38-10911-5 ISSN 0375-250X
56. Säkerhet och risk	Urban Hermansson Statens Räddningsverk 1990	P 21-055/90
57. Scientific American	Scientific American Inc. April -1992	ISSN 0036-8733
58. Värmeproduktion med gasol	Statens Energiverk 1989:R7	ISBN 91-38-12309-6
59. Dagens Nyheter	1992-10-05	Artikel
60. Dagens Nyheter	November 1992	Artikelserie
61. Dagens Nyheter	1992-11-14	Artikel
62. Dagens Industri	1992-11-24	Artikel

Referenslista - personer

Torsten Bergman, ingenjör	Norbergs elverk
Leif Bergström, konsult	f.d. KMW med ansvar för fastbränsleanläggningar
Thomas Bruce, vVD	Stockholms Energi
Gunnar Larsson, VD	Arvika Energi
Per Lekander, Tekn. lic	Ingenjörsvetenskapsakademin, IVA
Kjell Olsson, VD	Avesta Energi

Räddningsverket, 651 80 Karlstad
Telefon 054-10 40 00, telefax 054-10 28 89. Internet http://www.srv.se

Beställningsnummer P21-179/97. Telefon 054-10 42 86, telefax 054-10 42 10
ISBN 91-88890-83-X