

# Nya olycksrisker i ett framtida energisystem

Nya olycksrisker som kan uppstå i ett framtida  
diversifierat energiförsörjningssystem



2007 Räddningsverket, Karlstad  
Sekretariatet för forskning och analys  
ISBN 978-91-7253-351-6

Beställningsnummer I99-161/07  
2007 års utgåva

# Nya olycksrisker i ett framtida energisystem

Nya olycksrisker som kan uppstå i ett framtida  
diversifierat energiförsörjningssystem

Räddningsverkets kontaktperson:

Agne Sandberg, Sekretariatet för forskning och analys, telefon 054-13 52 20



# Förord

Denna rapport summerar översiktligt vad vi vet om det framtida energiförsörjningssystemet och de olycksrisker som kan förknippas med detta. Behovet av en sådan identifierades i slutet av 2006 gemensamt av Räddningsverket och Energimyndigheten.

Utgångspunkten är insikten om att det framtida samhällets människor och verksamheter kommer att behöva energi. På goda grunder antar vi dessutom att det framtida svenska energiförsörjningssystemet kommer att te sig mer diversifierat i förhållande till vad vi vant oss vid under industri- och välfärdssamhällets framväxt under 1900-talet. Forskning och utveckling kring nya (och gamla) energislag och teknik för nyttjande och effektivisering kommer att fortgå. Vi saknar dock en systematisk och heltäckande bild av de olycksrisker som kan uppstå i olika delsystem och i energiförsörjningssystemet som helhet.

Rapportens tidshorisont är ur energiplaneringsperspektiv medellång. Utredarens scenario bygger på en uppskattning av utvecklingen fram till år 2050. Energiförsörjningssystemets omformning är, i likhet med annan infrastrukturutveckling, en långsam process. De energipolitiska beslut som fattades för trettio år sedan har fortfarande avgörande betydelse för hur energiförsörjningssystemet ser ut idag och hur det utvecklas. De beslut som fattas idag kommer att prägla hur energisystemet ser ut om trettio eller femtio år. Vi har därför sett en poäng i att nu stanna upp och ställa frågan: finns det olycksrisker till fara för människor, miljö eller egendom som kan förknippas med den förväntade utvecklingen och omformningen av energiförsörjningssystemet?

Föreliggande rapport ska inte tolkas som ställningstaganden från Räddningsverket och Energimyndigheten. Om inte annat anges ansvarar författaren för påståenden och värderingar som görs. Rapporten ska ses som en idégivande översikt och som uppslagsbok för den som vill orientera sig om energiförsörjningsfrågor. För den som vill fördjupa sig finns omfattande referenser till vetenskapliga och andra fackpublikationer. Med rapporten som bakgrund bör såväl lekmän som professionella få idéer och uppslag om problemområden och vilka processer och delprocesser som kan mana till eftertanke och försiktighet. Den kan också ses som en väckarklocka som manar till förbättrad dokumentation, fortsatta undersökningar och forskning rörande olyckor och olycksrisker i energiförsörjningssystemets olika delar. En fråga som lagstiftaren och berörda myndigheter bör överväga är om man ska utveckla former för att utkräva ett tydligt ansvar för dokumentation av incidenter, tillbud och olyckor av tillverkare och verksamhetsansvariga. Dagens brist på samlad och systematisk olycksdokumentation inom detta område har tvivelsutan varit en utmaning för utredaren.

Arbetet har på ett förtjänstfullt sätt genomförts under våren/sommaren 2007 på konsultbasis av teknologie doktor Christer Björklund. Aktivt stöd för arbetet har getts från seniorforskaren Jette Lundtang Paulsen vid Risölaboratoriet, Danmarks Tekniska Universitet. Referensgruppen har letts gemensamt av Agne Sandberg vid Räddningsverket och Urban Bergström från Energimyndigheten. Härutöver har ett flertal personer från de båda myndigheterna deltagit i sakkunniggranskningar och gemensamma diskussioner.

Karlstad och Eskilstuna i september 2007:

Agne Sandberg  
Enheten för forskning och omvärldsanalys  
Räddningsverket  
E-post: [agne.sandberg@srv.se](mailto:agne.sandberg@srv.se)

Urban Bergström  
Avdelningen för Hållbar energianvändning  
Energimyndigheten  
E-post: [urban.bergstrom@energimyndigheten.se](mailto:urban.bergstrom@energimyndigheten.se)



# Innehållsförteckning

Förord.....	3
Innehållsförteckning.....	5
1. Sammanfattning.....	7
2. Uppdragets omfattning.....	9
3. Inledning.....	10
4. Energisystemets storlek och sammansättning 2050.....	11
4.1 Drivkrafter bakom utvecklingen av energisystemet.....	14
5. Komponenter i det framtida energisystemet.....	16
5.1 Kol.....	23
5.10 Kolkraft.....	24
5.11 Kokstillverkning.....	25
5.12 Kolförgasning.....	26
5.13 Kolförgasning och kombikraftvärmeproduktion.....	27
5.14 Kol-till-vätska (Coal-toLiquid, CTL) med Fischer-Tropsch processen.....	28
5.15 – 5.17 Separation/isolering och deponering av koldioxid.....	29
5.2 Naturgas, flytande naturgas LNG.....	32
5.20 Kombikraftvärmeanläggningar.....	33
5.21 Fjärrvärme.....	34
5.22 Villavärme.....	34
5.23 Fordonsgas.....	35
5.24 Syntesgas-/hydrogenframställning.....	35
5.25 Gas-till-vätska, GTL.....	36
5.26-5.28 Separering/isolering och deponering av koldioxid.....	37
5.29 Gashydrat.....	38
5.3 Oljeprodukter.....	39
5.30 Kondenskraft.....	40
5.31 Kraftvärme.....	41
5.32 Villavärme.....	41
5.33 Fordonsdrift.....	41
5.34 Oljeskiffer.....	42
5.35 Tjärsand (oljesand).....	43
5.4 Kärnenergi.....	43
5.40 Kärnkraft.....	44
5.5 Biomassor.....	46
5.50 Biobränslen för kraftvärme.....	47
5.51 Villavärme.....	48
5.52 Biobränsleförgasning.....	48
5.53 Biobränsle till vätska, BTL.....	48
5.54 Svartlutsförgasning.....	49
5.55 Biobränsleförgasning, kombikraftvärme.....	50
5.56 Avfallsbränslen.....	50
5.57 Avancerade biobränslen, etanol.....	51
5.58 Avancerade biobränslen, biodiesel.....	52
5.59 Biogas.....	53
5.6 Vattenkraft.....	54
5.60 Vattenkraftproduktion.....	54
5.61 Geotermisk värme.....	55
5.62 Berg-, jord-, sjö- och luftvärmepumpar.....	56
5.7 Vindenergi.....	56
5.70 Vindkraft.....	56
5.8 Solvärme och solkraft.....	57

5.80	Solvärmeproduktion .....	57
5.81	Solkraft med ”tråg”-koncentratorer .....	58
5.82	Solkraft med Heliostater .....	58
5.83	Solkraft med paraboliska koncentratorer .....	59
5.84	Solceller .....	59
5.9	Hydrogenteknologier .....	60
5.90	Komprimerad hydrogen.....	63
5.91	Flytande hydrogen .....	63
5.92	Hydrogen som energibärare.....	64
5.93	Termokemisk produktion av hydrogen.....	64
5.94	Bränsleceller .....	64
5.95	Batterier .....	65
5.96	Energieffektivitet, besparingar .....	66
5.97	Utbudssidan .....	67
5.98	Efterfrågesidan.....	67
6.	Olycksrisker .....	68
6.1	Kol .....	75
6.2	Naturgas.....	75
6.3	Olja .....	75
6.4	Kärnkraft.....	75
6.5	Biomassa, pellets .....	75
6.51	Bioetanol, E85 .....	76
6.52	Biodiesel .....	76
6.53	Biogas .....	76
6.6	Vattenkraft .....	77
6.7	Vindkraft.....	77
6.71	Vågkraft .....	77
6.8	Sol, solvärme .....	77
6.81	Solceller .....	77
6.9	Hydrogen .....	78
7.	Slutsatser .....	80
8.	Referenser.....	82



# 1. Sammanfattning

Behovet av begränsning av utsläppen av växthusgaser har fått ett kraftigt genomslag i media de senaste åren och därmed även blivit ett prioriterat område för politiker. Samtidigt kan konstateras att förändringar i energisystemet är synnerligen kostnadskrävande och kräver en betydande tid för planering och genomförande. Ofta krävs medverkan från flera samhällssektorer och aktörer – från stat och industrier till stora grupper av privatpersoner. Energimyndigheten uttrycker det i sin rapport "Ett effektivt energisystem i samspel med omvärlden"(6) som att "Energisystemet är sådant till sin karaktär att det förändras långsamt och har lång livslängd" I denna rapport har därför få radikalt nya tekniker förväntats få någon kraftig inverkan på energisystemet inom planeringstiden fram till 2050. Stora förändringar kommer att krävas men de energikällor som får ökad betydelse utgörs av energikällor som sedan länge är kända. De enda områden där enstaka kompletterande upptäckter bedöms kunna få genomslag är inom områdena batterier och bränsleceller för fordonsdrift. Förnybara energikällor kommer naturligtvis att få ökad betydelse. Vi kommer att se betydligt mer vindkraft producerad längs våra kuster. Biobränslen kommer att utnyttjas i allt högre grad.

Biogasproduktionen kommer att öka och förhoppningsvis utnyttjas i betydligt högre grad för fordonsdrift. En viktig hjälp kan en ökad utbyggnad av ett naturgasnät liksom distribution av naturgas erbjuda. Farhågorna för att naturgasen skall ta överhand kan exempelvis begränsas genom att biogas ges prioritet

Det är tveksamt om "hydrogensamhället" kommer att bli en realitet. Det handlar om en introduktion av en ny "energibärare", ett alternativ till elkraft, inte en energikälla, och dessutom är det svårt att se hur hydrogen skall produceras utan att koldioxid bildas som biprodukt, dock med ett undantag: kraftig utbyggnad av kärnkraften. Till skillnad från elkraft så kräver hydrogen en helt ny infrastruktur i form av ett gasnät. Småskalig distribuerad produktion av hydrogen blir mycket kostsamt då få skalfördelar kan påräknas. Lagringen av hydrogen i fordon är i dag långt ifrån en tillfredsställande lösning (om med detta menas de mål som sattes upp då hydrogen introducerades som ett intressant alternativ till konventionella drivmedel).

Konsekvenserna av det ovan relaterade blir ett energisystem där förnybara energikällor kommer att få en allt större betydelse. Utbyggd kärnkraft och utökad naturgas- och biogasanvändning kommer likaså att begränsa utsläppen av växthusgasen koldioxid.

När det gäller olycksrisker så finns det få skäl att tro att nya, tidigare okända olyckor skall inträffa som ett resultat av energisystemets gradvisa omställning. Ökad användning av biobränslen som till sin natur är en utspridd småskalig verksamhet kommer att medföra en ökad lastbilstrafik samtidigt som transportererna av petroleumprodukter kommer att minska.

Vi har sett hur en ökad användning av pellets resulterat i bland annat villabränder på grund av tekniska brister i brännarutformningen, men även självantändning i pelletslager och koloxidförgiftning på grund av koloxidutveckling i lagrad pellets. Dessa problem går att lösa varför tekniken inte behöver medföra några framtida återkommande problem. Introduktion av ny teknik kräver alltid en vaksamhet så att oväntade problem kan lösas. Inga olösliga problem förväntas som ett resultat av energiomställningen. Introduktionen av etanol som huvud-komponent i drivmedel för bilar förväntas inte resultera i en ny och markant annorlunda risksituation.

Användningen av E85 har hittills inte gett upphov till nya typer av olyckor eller fler konventionella olyckor (bränder) Det finns således ingen anledning att tro på en ny riskbild. På samma sätt beräknas inte en ökad användning av biodieselnalternativ baserade på vegetabiliska (och i viss mån animaliska) fettsyraestrar (FAME, RME) ändra olycksbilden i någon väsentlig utsträckning.

Det enda nya riskområdet rör ökad användning av gas under högt tryck för drift av fordon. Här kommer lekmän att hantera gas under högt tryck, men med hjälp av ny säkrare teknologi anser experterna att såväl biogas som naturgas och hydrogen skall kunna hanteras utan ökad risk för olyckor.

Introduktionen av ny teknik belyser ett allmänt problem, behovet av en tidig rapportering av enstaka olyckor och tillbud. Detta utgör början på nya erfarenheter av stor vikt för arbetet med att minska risker för och konsekvenser av framtida olyckor.

## 2. Uppdragets omfattning

Uppdraget avser en forskningsöversikt för att klargöra kunskapsläget utifrån såväl nationell som internationell forskning rörande nya olycksrisker som kan uppstå i ett framtida diversifierat energiförsörjningssystem.

Arbetet skall tillfredsställa ett behov som finns av att kartlägga olycksrisker som kan uppstå då dagen energisystem utvecklas i olika riktningar. Arbetet sker inom ramen för Statens Räddningsverks (Räddningsverkets, SRVs) arbete med omvärldsanalys och har sin utgångspunkt i Räddningsverkets uppdrag att förebygga olyckor i samhället.

Med energiförsörjningssystem avses såväl produktion, distribution, lagring som användning av olika energislag vilka kan komma att användas för bostads-/lokaluppvärmning, industriell och annan produktion samt transporter. Vilka riktningar och var tyngdpunkten kan komma att ligga är däremot oklart för SRV. Ännu större oklarhet råder då det gäller de olycksrisker som kan uppstå då nya, mer eller mindre obeprövade energislag och energibärare och med dem sammanhängande teknologier och infrastruktursystem förverkligas. Även kombinationerna av nya och gamla energislag och energibärare och teknologier kan – åtminstone teoretiskt – ge upphov till ett okänt antal nya risker.

Med olycksrisker avses risk för icke önskvärda händelser eller händelseförlopp som kan resultera i skador till men för människor, miljö och/eller egendom. I första hand avses icke avsiktliga händelser/händelseförlopp. Olycksrisker som kan uppstå på grund av antagonistiska ingrepp (kriminalitet, terrorism etc.) bör belysas mer översiktligt.

Översikten skall med referens till aktuell nationell och internationell forskning av god kvalitet ge en samlad bild av kunskapsläget. Översikten bör ta sin utgångspunkt i de prognoser för den framtida energiförsörjningen i Sverige som Energimyndigheten (STEM) tagit fram. Såväl i dag välbeprövad teknologi som ny (under utveckling) skall behandlas. Tidsperspektivet skall vara medellångt, det vill säga ta i beaktande de alternativ som kan vara verklighet omkring år 2050.

Arbetet skall sammanställas i en skriftlig rapport med källhänvisningar och levereras i såväl digital som tryckt form till SRV och STEM senast den 31 maj 2007.

### 3. Inledning

Med **energiförsörjningssystem** förstås de olika energislag som beskriver energiförsörjningen från energikälla till tillgänglig energi (exergi) för användaren (1,2). I denna studie skall ett medellångt perspektiv läggas på energisystemets utveckling och beakta de förändringar som kan vara aktuella år 2050.

I Energimyndighetens rapport Långtidsprognos 2006 (3) gör myndigheten prognoser över det svenska energisystemet fram till år 2025. Dessa prognoser skall tjäna som underlag för EU om miniminivån på utsläpp av växthusgaser från källor och reduktion genom upptag i sänkor för åren 2005, 2010, 2015 och 2020. Uppskattningen baseras på av riksdagen fattade energipolitiska beslut vilket innebär att 2006 års skatter och styrmedel antas gälla. Energimyndigheten konstaterar att förutsäga utvecklingen 20 år framåt i tiden är minst sagt vanskligt då antagandena om den framtida prisutvecklingen på olja är mycket osäkra. Myndigheten har valt att basera sina bedömningar på International Energy Agencys (IEA) publikation "World Energy Outlook 2006 (4)". Energy Information Administration (EIA) ger varje år ut The Annual Energy Outlook (2007) i vilken man presenterar långsiktiga prognoser för energitillgång, efterfrågan och prisutveckling till år 2030 (5)

Energimyndighetens rapport "Ett effektivt energisystem i samspel med omvärlden" inom ramen för myndighetens projekt Vision 2050 (6) beskriver i kvalitativa termer energisystemets utveckling i en långsiktigt hållbar riktning. Myndigheten konstaterar inledningsvis att "Energisystemet är sådant till sin karaktär att det förändras långsamt och har lång livslängd". Definitionen på hållbar utveckling är "*en samhällsutveckling som tillgodoser dagens behov utan att äventyra kommande generationers möjligheter att tillgodose sina behov*" (Brundtland kommissionen). Man konstaterar att det hållbara energisystemet måste baseras på avvägningar mellan påverkan på miljö, kostnader och en trygg energiförsörjning. En av de mest centrala frågorna i dag är utsläppen av växthusgaser. Man konstaterar vidare att det av rättviseskäl är önskvärt att utsläppen per person globalt sett närmar sig en gemensam nivå. Baserat på de befolkningsprognoser som föreligger så betyder det att de svenska utsläppen till år 2050 bör ha minskat till högst 4,5 ton koldioxidkvivalenter per person (motsvarande cirka 1800 l bensin) från dagens uppskattning av utsläppen som är 6,0 ton koldioxid (CO<sub>2</sub>) per innevånare.

Ett hållbart energisystem bör inte sätta begränsningar för den ekonomiska utvecklingen utan medge konkurrenskraftiga energipriser. Ramarna för ett hållbart energisystem år 2050 kan sammanfattas i följande 5 kriterier (6):

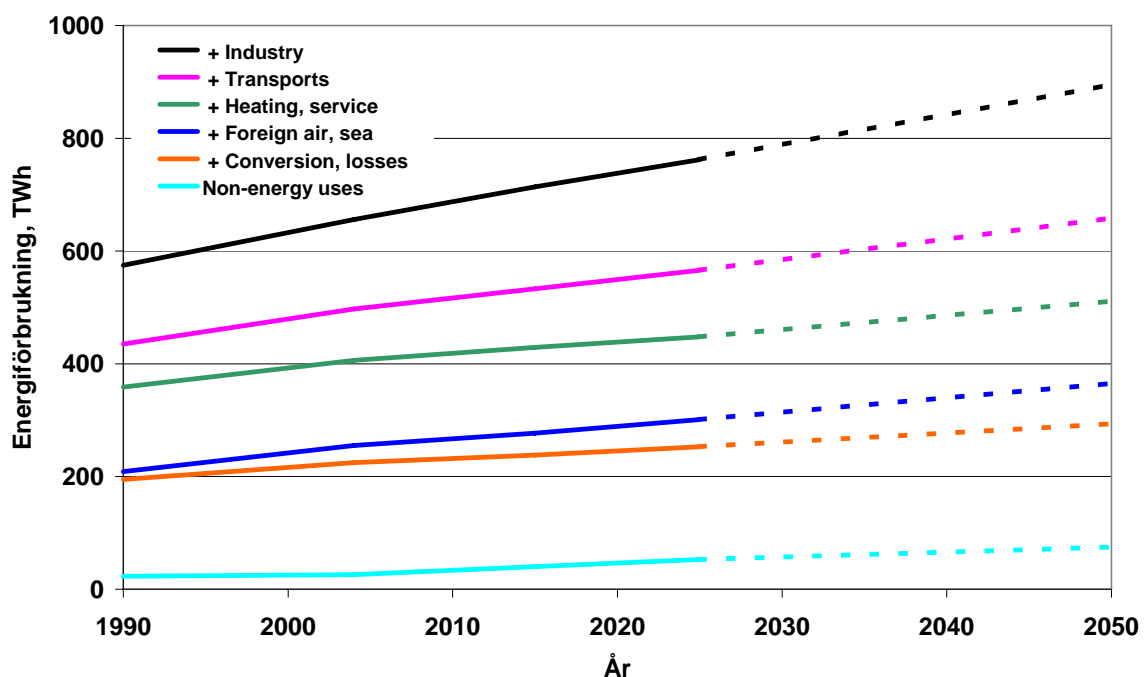
- Energisystemet skall bidra till att målet 4,5 ton CO<sub>2</sub> per person uppnås
- Liten inverkan på miljö och människa
- Konsumenten ska ha tillgång till energi till rimliga priser
- Hög tillförlitlighet
- Konkurrenskraftiga energipriser för industrin

Det kan vara på sin plats att påpeka att 4,5 ton koldioxid motsvarar förbränningen av 1,5 ton petroleumprodukter (räknat som oktan). Det motsvarar den ungefärliga bränsleförbrukningen för en körsträcka om 2000 mil med en familjebil eller varför inte tre tur- och returresor till miljömöten i New York, möjligen också till taxi till och från Arlanda, under förutsättning att kabinfaktorn är hög. "SUV:ar" (Sports Utility Vehicles) för arbetsresor blir reserverade för dem som bara behöver åka till arbetet halva året. EU:s mål är 140 g CO<sub>2</sub>/km till år 2008/2009 och överväger ett bindande mål om 120 g/km till år 2012, vilket motsvarar en drivmedelsförbrukning om cirka 0,65 l/mil (diesel 0,45 l/mil) respektive 0,56 l/mil. På längre sikt är EU:s mål 95 g/km eller cirka 0,44 l/mil.

En så kraftig begränsning gör att vi måste kraftigt ifrågasätta vårt dagliga beteende. Det krävs en effektiv "koldioxidfri" kollektivtrafik (spårbunden eller varför inte en renässans för trådbussar?) för resor till och från arbetet för att möjliggöra fritidsresor, inklusive semester-resor. Det kommer att krävas omprioriteringar för att skapa utrymme för den valfrihet som förknippas med "livskvalitet".

## 4. Energisystemets storlek och sammansättning 2050

Framtida energibehov kommer att bestämmas av skärningen mellan efterfrågeökningen (business-as-usual) och de ökande begränsningar som beslutats om politiskt till en följd av växthuseffekten (klimatbegränsningar). I figur 1 redovisas Långtidsprognosen 2006 med extrapolation fram till 2050. Med stor sannolikhet överskattas energiförbrukningen år 2050 kraftigt vid denna framskrivning då varken den ökande medvetenheten om klimatförändringarna som en följd av utsläppen av växthusgaser eller ökade energikostnader på grund av stigande efterfrågan förefaller ha haft något inflytande på uppskattningarna fram till 2025. Extrapolering så långt fram i tiden är knappast försvarbart som prognosmetod.

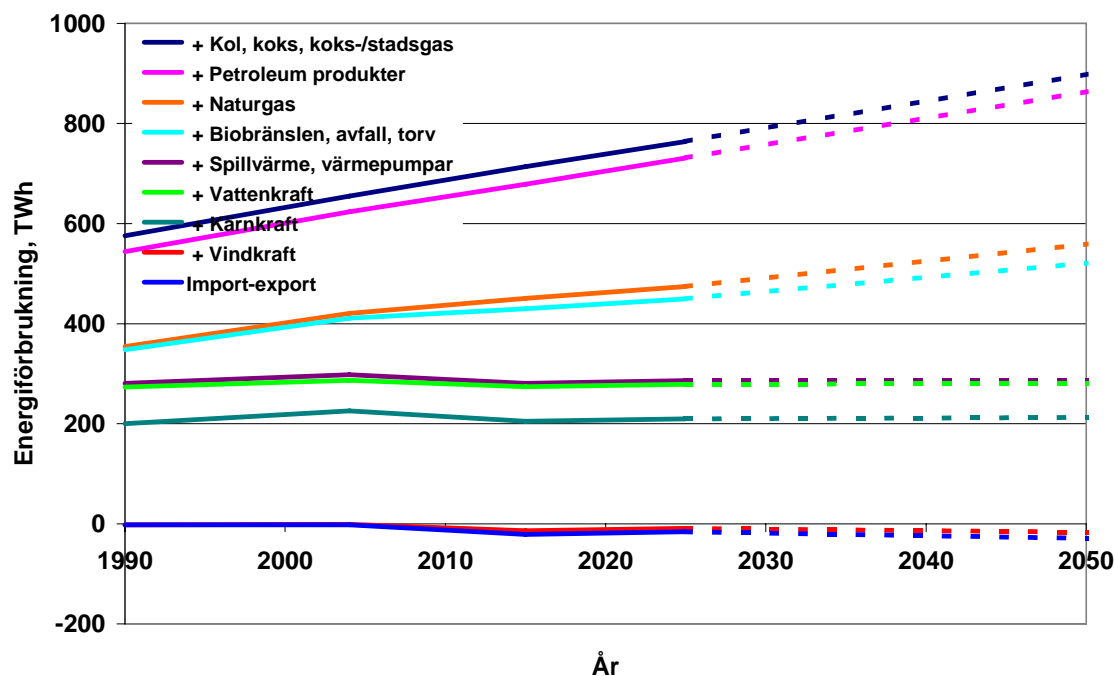


Figur 1. Energiförbrukning, faktisk och uppskattad, för olika sektorer/områden för perioden 1990-2025 (3), här extrapolerad till 2050.

De senaste årens turbulens på energimarknaden har satt försörjningstrygghet och uthållighet i fokus (4, 7, 8, 10, 11). Till en början beroende på kraftigt ökande marknadspriser, men senare allt mer kopplat till politiska leveransinskränkningar från rysk sida rörande naturgas. Kol bidrar till att säkra elkraftproduktionen genom att det finns stora och geografiskt spridda koltillgångar.

I strikt mening så är det bara de energiförbrukningar som resulterar i koldioxidutsläpp med fossilt ursprung som behöver begränsas, det vill säga naturgas, petroleumprodukter samt kol och koks. En första åtgärd som bör och måste tillgripas är besparingar genom effektivisering av och ökad hushållning med knappa (tilldelade) resurser. I praktiken är det svårt om än inte teoretiskt omöjligt att substituera fossila fordonsbränslen, varför en kombination av energibesparingar och substitution eller komplettering med förnyelsebara energikällor torde bli en tvingande nödvändighet med åtföljande kostnadsstegringar.

Nu kommer inte kraven på begränsningar att drabba alla energiförbrukande sektorer lika, men alla sektorer kommer att känna av stigande energipriser och därmed även besparingskrav. Energieffektivisering i alla former kommer att hamna högt på dagordningarna. Ett byte mellan fossila bränslen kan likaså medföra betydande besparingar av utsläpp av koldioxid: byte av kol mot naturgas (kg mot kg) -62 %, diesel/eldningsolja 1 mot naturgas -31 %.



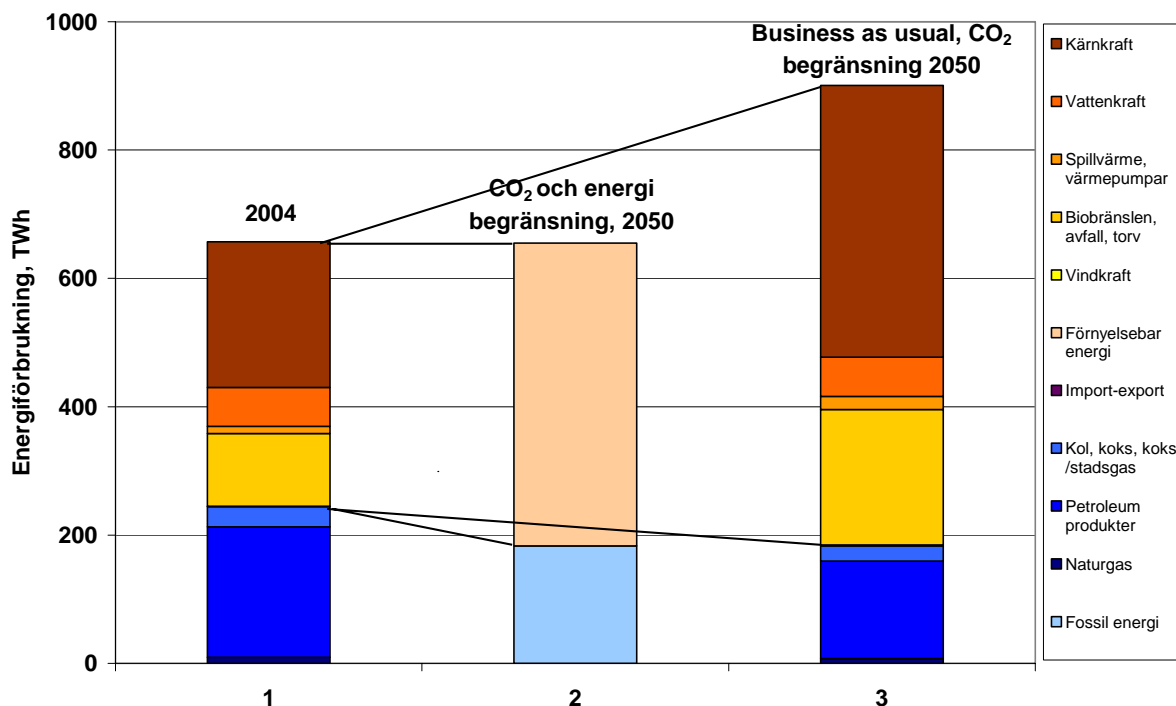
Figur 2. . Energiförbrukning, faktisk och uppskattad, för olika energikällor för perioden 1990-2025 (3), här extrapolerad till 2050.

Fasta installationer för uppvärmningsändamål bör således konverteras från fossila bränslen till exempelvis biobränslen i den mån det inte redan skett, alternativt kompletteras så att koldioxiden kan tas omhand. Det senare torde vara praktiskt ogörligt i de flesta fall. Transporter kommer att behöva effektiviseras och i hög utsträckning konverteras till biobränslen eller till eldrift. Varför inte komplettera dagens tåg, spårvägar och tunnelbana med en ny generation trådbussar som ersättning för dagens dieseldrivna bussar?

Elkraftproduktionen kommer att behöva utökas kraftigt, vilket med den nya koldioxidrestriktionen, kräver såväl biobränslebaserade kraft(värme)anläggningar liksom en renässans för kärnkraften. En vindkraftutbyggnad till 20 TWh förändrar inte bilden i figur 2 i någon väsentlig grad (vindkraften går från knappt synlig till synlig) men försvarar naturligtvis sin plats som en "nischenergikälla".

I figur 3 redovisas två alternativa framtidsbilder baserade på förenklade antaganden om framtiden. Det "sorglösa" business-as-usual" alternativet med en stadig tillväxt av energiförbrukningen som baseras på enkel trendframskrivning vilket framgår av figur 1 och 2 dock med ett överlagrat krav på att koldioxidutsläppen skall begränsas i enlighet med kraven ovan.

Besparingsalternativet bygger dels på en probleminsikt men även på en reflektion över den ökande energiförbrukningens orsaker och värde. Energibesparingar, bland annat genom effektiviseringar kommer att vara mycket viktiga faktorer för att besparingsalternativet skall kunna förverkligas (9, 10). Positiva uttryck som livskvalitet, välfärd och lycka kan knappast sägas förutsätta en stadigt ökande energiförbrukning. I en situation där enigheten om behovet av kraftfulla åtgärder mot obegränsade utsläpp av växthusgaser växer sig allt starkare bör det vara möjligt att manifestera andra värden och kvalitéer än styrka, kraft och prestanda (som man knappast får utnyttja) vid val av fordon.



Figur 3 Två scenarier för framtida energiförbrukning.

I båda scenarierna har användningen av fossila energikällor begränsats så att utsläppen skall stanna vid 75 % av dagens nivå utan att värdera förskjutningar mellan energislagen (9, 10, 12, 13, 14). I "business-as-usual" scenariot skulle en direkt uppräkning av energiförbrukningen och med hänsyn tagen till att en kraftigt utbyggd vattenkraft är osannolikt resultera i en kraftigt ökad användning av biobränslen och kärnkraft. Alternativt kan förskjutningen mot biobränslen och kärnkraft begränsas om koldioxid tas omhand och deponeras på ett acceptabelt, icke klimatpåverkande sätt. Business-as-usual scenariot förutsätter en kraftig omställning och nyinvesteringar i en skala som sannolikt kräver att de påbörjas omedelbar start om de skall kunna genomföras i tid. När detta skrivs våren 2007 har ytterligare skärpta utsläpps begränsningar börjat diskuteras.

Tabell 1. Framtida energianvändning

	2004	2050	2050
<b>Scenario</b>	<b>"Nuläget"</b>	<b>CO<sub>2</sub> och energi- begränsning</b>	<b>Business-as- usual med CO<sub>2</sub> begränsning</b>
<b>Energianvändning, TWh</b>	655	655	899
<b>Andelen förnyelsebara energikällor och kärnkraft (brutto)</b>	63 %	72 %	80 %
<b>Andel fossila energikällor</b>	37 %	28 %	20 %

Sett i ett internationellt perspektiv är kol den energikälla vars utnyttjande ökar mest. Under treårsperioden 2002 – 2004 var tillväxten 25 % och förbrukningen var 2005 cirka 5,3 Pg (5 300 000 000 ton).

I vår omvärld genomförs likaså utredningar med syftet att kraftigt begränsa energiförbrukningen, speciellt förbrukningen av fossil energi. I Danmark har således Ingenjörforeningens Energiplan 2030 presenteras. Målet är att begränsa utsläppen av koldioxid med fossilt ursprung med 60 %, bland annat genom att reducera energianvändningen med 30 %. För att åstadkomma detta presenteras en hel palett

med åtgärder där besparingar intar en central position liksom förslag om inrättande av olika sparfonder för att stimulera till nödvändiga investeringar i besparingsåtgärder och alternativa tekniker. I Energiplan 2030 antas 30 % av den primära energiförbrukningen täckas med biobränslen samtidigt som kol, olja och naturgas minskas till hälften.

Sammanfattningsvis kan sägas att energisystemet är dynamiskt och anpassas till förutsättningarna, såväl lagar och förordningar som kundernas preferenser och förväntningar. Koldioxidutsläppen kan begränsas om vi vill så skall bli fallet. På vägen dit så kommer vi sannolikt att utnyttja naturgas som ett led i begränsningen medan biobränslen och förnybara energikällor kommer att utgöra en allt större andel av energisystemet. Olika incitament kommer att krävas för att kraftiga besparingar skall bli verklighet (122).

Sedan uppdraget formulerades har betydligt kraftigare begränsningar av koldioxidutsläppen (50 %) aviserats och diskuterats. Sannolikt kommer deponering av koldioxid i akviferer och olje- eller gaskällor bli än viktigare.

## 4.1 Drivkrafter bakom utvecklingen av energisystemet

Det har under lång tid rått enighet om nödvändigheten att tillfredsställa energibehovet i samhället. Ett behov som ansågs vara en förutsättning för välfärd och industrisamhällets utveckling. En av de första restriktionerna (i modern tid) för energiförsörjningens fortsatta utbyggnad var fredandet av de kvarvarande inte utbyggda älvarna i Norrland. Det innebar att en fortsatt utbyggnad av en inhemsk förnybar energikälla stoppades av miljö- och ekologiska skäl till förmån för exempelvis kärnkraftutbyggnaden. Tillgången på billig elkraft marknadsfördes för uppvärmningsändamål med elpatroner för befintliga vattenburna system och direktverkande el i nybyggda enfamiljshus. Inom industrin kom tillgången på billig elkraft och skatter och avgifter att medföra dels installation av elpannor, men även att befintliga ångturbiner stoppades och monterades ned.

Olyckorna i Harrisburg och Tjernobyl medförde en betydande oro för kärnkraftolyckor vilket i Sverige ledde till folkomröstning om kärnkraften och beslut om avveckling dock först efter att påbörjade verk tagits i drift och drivits i ett tiotal år. Samtidigt kom kärnkraftutbyggnaden att stoppas på alla marknader och förbli stoppad i cirka 30 år. Synen på miljöföroreningar har gradvis skärps vilket framtvingat allt effektivare rökgasrening för att eliminera stoftutsläpp och utsläpp av svaveldioxid och kväveoxider. Lågsavliga oljor för uppvärmningsändamål tog allt större andel av marknaden.

Stegvis ökade energiskatter gjorde att intresset för obeskattade biobränslen blev allt intressantare. Spånskiveindustrin fick en ny konkurrenssituation. Det blev en renässans för vedeldning. Strävan efter enkelhet och bekvämlighet leder till utveckling av bränslepellets som kan eldas i automatiserade pannor på ett sätt som närmar sig oljeeldningen vad gäller bekvämlighet. Flertalet elpannor inom industrin blir avställda då kostnaderna skjuter i höjden.

I takt med att skatter och avgifter höjts har reglerna behövt anpassas så att inte den konkurrensutsatta industrin skall drabbas för kraftigt med nedläggning och arbetslöshet som resultat. Konsekvensen blir således att de verkligt stora industriella energiutnyttjarna slipper många pålagor medan den enskilda människan tvingas betala, eller förändra sin förbrukning. En intressant fördelningspolitik som är en konsekvens av att investeringsbeslut är enkla att flytta.

Under 1990-talet hamnar koldioxidutsläppen allt mer i fokus för att under 2000-talets första decennium bli den dominerande miljöfrågan som förklaringsgrund till växthuseffekten. Såväl fast biobränslen som flytande och gasformiga röner stort intresse (12, 13, 15-19, 102, 105). Luftvärmepumpar kan hjälpa egnahemsägare med direktverkande eluppvärmning att sänka kostnaderna. För villor med vattenburen värme blir bergvärme ett attraktivt sätt att sänka elräkningen. Allt fler fjärrvärme- och kraftvärmeanläggningar investerar så att de kan utnyttja ekonomiskt fördelaktigare flisbränslen. För fordonsdrift provas etanol, rapsfettsyraestrar och biogas. Incitamenten



till byte av fossila bränslen mot förnybara bränslen har gradvis ökat, men i och med att växthuseffekten fått en så dominerande ställning i den offentliga debatten så förefaller oron för framtiden vara den dominerande drivkraften bakom den ökande miljömedvetenheten. Medan fordon som drivs med (delvis) förnyelsebara bränslen får förmåner så sjunker försäljningen av stora och bränsleslukande fordon. Utgående från de scenarier som skissats för växthuseffekten så kan vägen till framtidens energisystem beskrivas på följande sätt:

- Fokus på effektivisering och besparing
- Ökad biobränsleanvändning för värme och kraftvärme, men även flytande och gasformiga produkter för fordonsdrift
- Ökad utnyttjande av vind- och solenergi

Samtidigt bör naturgas användas i större omfattning under en övergångsfas för att på så sätt minska koldioxidutsläppen. Naturgas kan förbereda vägen för biogas för fordonsdrift genom att möjliggöra en snabbare utbyggnad av tankningsmöjligheterna för gas.

Vårt välfärdssamhälle har i allt större omfattning kommit att kräva resor. Våra varor är ofta betydligt mer "beresta" än vi själva, Vårt tjänsteresande i arbetet ökar trots att mobiltelefoner och Internet medger en kommunikation som vi aldrig tidigare varit i närheten av, men som vi inte riktigt vill ta till oss. Det personliga oberoendet och bekvämligheten leder till att vi utnyttja den egna bilen även då kollektivtrafiken finns att tillgå. Semesterresor till avlägsna mål är för många en självklarhet. Fritidsresor till sommarstället, ishockeylagets träning eller besök i ridstallet tas för givet och blir inte föremål för allvarliga överväganden. Om vi tar hoten om växthuseffekten på allvar så förefaller det nödvändigt att skärskåda dessa energikrävande aktiviteter:

- Kan jag vara utan denna resa eller kan jag resa energisnålare (slå ihop resor)?
- Vad av välfärdens resor värdesätter jag mest: möjligheten att resa till arbetet i egen bil eller att resa till landet på fritiden?
- Hur skall min nästa bil se ut, om en utsläpps begränsning på 120 g koldioxid/km gäller?

Ytterst blir det en fråga om vad vi verkligen vill lägga in i och prioritera i begreppet välfärd. Kan vi vänja oss av med långa resor (semester i Thailand) eller sex cylindrar och fyrhjulsdrift om det verkligen gäller?

Många beslut som påverkar vår energianvändning är långsiktiga till sin natur:

- Nya bostäder (byggnader) bör vara nära energineutrala, det vill säga det bör inte behövas speciella uppvärmningssystem utan god isolering och utnyttjade av spillvärme bör vara till fyllest. En ny bostad som inte är energisnål kommer att finnas kvar och förbruka energi under lång tid.
- Bilar som köps in i år kommer att finnas kvar om 10 år. Det tar således tid att förändra bilparkens bränsleförbrukning i den riktning man önskar.

Alla investeringsbeslut är långsiktiga till sin natur. Regelverk måste likaså vara långsiktigt och inte präglas av kortsiktighet och följa tillfälliga opinioner.

## 5. Komponenter i det framtida energisystemet

Studien av olycksrisker föreslås utgå ifrån European Energy Risk Monitor, Ermon som utvecklats inom EU (20, 113, 114). Det är en generell beskrivning av bränslecykler och livscyklar för alla energiteknologier.

I Ermon arbetet avhandlas 11 energikedjor:

- Fossila energikällor
  - Kol
  - Gas
  - Olja
- Kärnkraft
- Förnyelsebara energikällor
  - Biomassa
  - Geotermi
  - Vattenkraft
  - Sol
  - Vind
- Hydrogenteknologier

Dessa energikedjor kommer att utgöra stommen i denna rapport och kompletteras med de tillkommande energikällorna som presenterats som uthålliga komplement. Därtill bör nämnas direkta och indirekta energieffektiviseringar vilka likaså är viktiga komponenter i det svenska energisystemet.

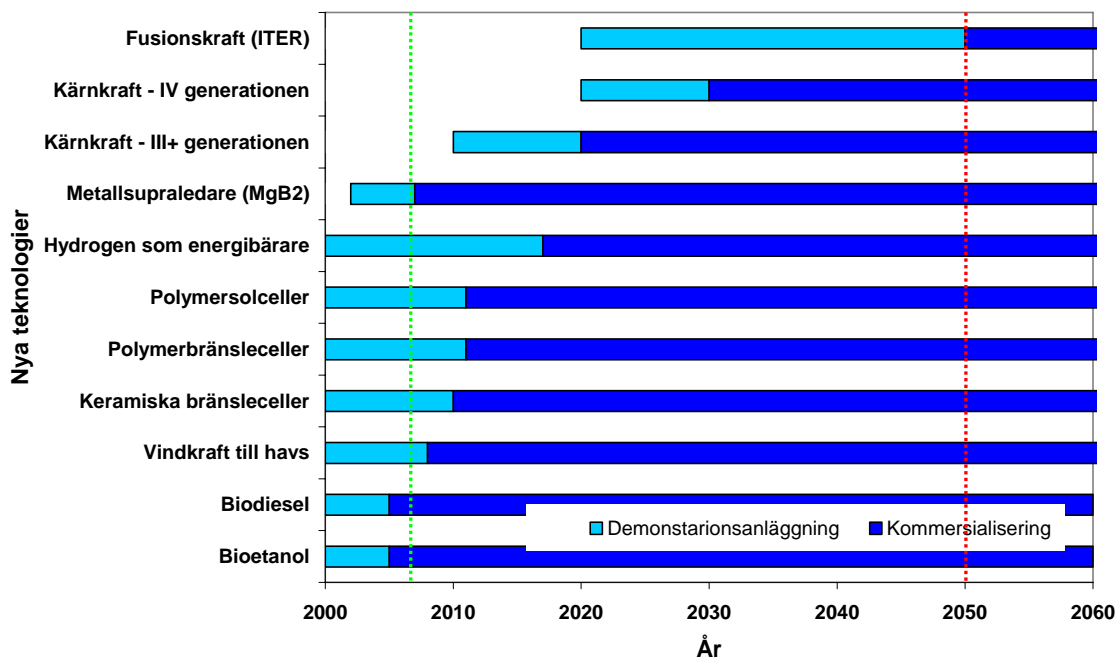
Arbetet med att identifiera nya olycksrisker kommer att bygga på de nya energikedjor under de som redovisas i Ermon. Som exempel kan nämnas omhändertagande av koldioxid (sekvestrering det vill säga isolering och lagring) från exempelvis användning av kol. Vidare kommer flera exempel under biomassa att tillföras. Hydrogen är ett exempel på en energibärare<sup>1</sup> och ett alternativ till elektricitet. Attraktiviteten är helt beroende på att det bara bildas vatten vid förbränningen (i detta sammanhang en försumbar växthusgas). Vad som inte vägs in tillräckligt enligt mitt förmenande är konsekvenserna som uppstår vid framställningen, koldioxid, om fossila bränslen används, eller effekterna från kärnkraften beroende på vilken tillverkningsmetod som väljs av de huvudalternativ som finns. Att bygga upp en ny infrastruktur för hydrogendistribution parallellt med de befintliga el- och gasnäten förefaller oreflekterat och ekonomiskt närmast oansvarigt.

Andra teknologier som nämns i samband med en framtida energiförsörjning är bränsleceller och batterier i samband med framtida fordonstrafik eller supraleddare för förlustfri överföring eller användning av elkraft.

---

<sup>1</sup> En energibärare är ett sätt att transportera *exergi* (den del av energin som går att nyttiggöra) från en energiomvandlingsprocess till en annan plats (fast eller rörlig) där man vill utnyttja exergin. Som exempel kan nämnas produktion av hydrogen från den primära energikällan kol till en bränslecell för produktion av elkraft för drift av ett fordon eller omvandling av kol till flytande bränsle för användning i ett fordon.

I figur 4 visas en sammanställning över demonstration av nya teknologier och när dessa kan tänkas bli kommersiellt tillgängliga (12).



Figur 4. Demonstration och kommersiell introduktion av nya teknologier (12)

Ermon har exempel på de risker som uppstår inom flera av energikedjorna. Dessa baseras uppenbarligen på tillgängliga erfarenheter i form av statistik. Det kommer rimligen att bli svårare att hitta sådana uppgifter för nya energikedjor.

Analysen av möjliga olycksrisker utgår från identifierade steg i likhet med de kedjor som beskrivs i Ermonrapporten. I första hand blir det en kvalitativ beskrivning.

### Restriktioner rörande drivmedel för fordon

Flera praktiska restriktioner kommer att begränsa utbudet av alternativa drivmedel (21, 22). De stora motortillverkarna kommer inte att tillhandahålla mer än ett begränsat antal motorer anpassade till olika syntetiska eller halvsyntetiska drivmedel. I den mån mindre efterjusteringar är tillräckligt för att motorn skall fungera med tillfredsställande prestanda och livslängd för ett "nisch"-bränsle så kan bränslet accepteras från tillverkarens sida. Från fordonsägarens och användarens synpunkt är tillgången på och kostnaden för bränslet liksom kompatibiliteten av avgörande betydelse. Ägarna av tankställena har ett berättigat krav på att antalet drivmedelsalternativ hålls nere till ett hanterligt antal. Antalet bränslen kommer sannolikt inte att bli fler än cirka 5 olika då ytterligare kvalitétéer kommer att medföra betydande investeringar i en bransch som brottas med dålig lönsamhet och övertalighet och där ett betydande antal nedläggningar är att vänta.

Oljebolagen vill samtidigt kunna hålla nere antalet drivmedelskomponenter för att på så sätt underlätta praktiska logistiklösningar. Formulering av bränslet sker i depån utgående ifrån ett fåtal komponenter. Detta är ett sätt att underlätta distributionen.

Sannolikt kommer utbudet av drivmedel med olika oktantal att begränsas genom att man kommer att tillhandahålla ett drivmedel med tillräckligt oktantal. I framtiden skulle utbudet kunna se ut på följande sätt:

- Bensin, på sikt med ökad inblandning av syntetiskt drivmedel, i första hand etanol och ev. metyl-tert.-butyleter (MTBE)
- E85 som komplement till och ersättare för en del av bensinen

- Dieselbränsle, på sikt med ökad inblandning av syntetiskt eller biodieselbränsle
- Miljödieselbränsle (FAME, RME, FAEE etc. i den mån de är kompatibla)
- Fordonsgas i form av biogas och/eller naturgas erbjuds från samma tankstation i mån av tillgång och med prioritet för biogas om den finns att tillgå.

Sannolikt kommer högt ställda kvalitetskrav från motortillverkarna och kunderna att begränsa kombinationerna liksom miljökrav på rena avgaser. För mindre tankställen kan antalet kvalitéer begränsas till tre typer: ”bensin”, ”diesel” och (bio-)gas.

I tabell 2a, b, c presenteras de förslag till komponenter i det framtida svenska energisystemet som bedöms ha störst sannolikhet att få betydelse för landets energiförsörjning (10, 12, 15, 16, 17). Vidare inkluderas några förslag som ofta berörs när vår framtida energiförsörjning diskuteras.

Det är värt notera att nya komponenter inte nödvändigtvis kommer att innebära risker för nya olyckor i Sverige. Som exempel kan väljas en eventuell framtida utvinning av metangashydrat, vilket kommer att medföra nya typer av risker vid utvinningsplatsen. Metangasen kommer i ett senare skede att distribueras på konventionellt sätt i ett naturgasnät. I den mån naturgas från hydrat kommer att bli en betydande komponent i energisystemet så kan risken öka för konventionella olyckor relaterade till användning av gas.

En ökad användning av biomassa inom Sverige kommer att medföra ett ökat transportbehov, till stor del på våra vägar och således öka risken för olyckor där större lastbilar är inblandade.

Tabell 2a.

Komponenter i det framtida energisystemet		FK Fossil koldioxid, CO <sub>2</sub> , FE Förnybar energi				
		E effektivisering, N ny process, RV reduktion av växthusgaser, EB Energibärare				
		Olycksrisk i Sverige: N ny risk, B befintlig risk, X ej tillämplig				
		Kap.	Tekn livstid, år Ny teknik i Sverige			
5.1	<b>Kol</b>	FK		B		Framför allt för masugnskoks
5.10	Kolkraft	FK		B	25-30	Kondenskraft, reservkraft på utgående
5.11	Kokstillverkning	FK		B	25-30	Råvara för järnframställning i masugnsprocessen
5.12	Kolförgasning	FK		N	25-30	Partiell oxidation, ångreforming
5.13	Kolförgasning och gaskombianl.	FK	E	N	25-30	Kombikraftvärmeanläggningar
5.14	Kol-till-vätska	FK	N	N	25-30	Fischer-Tropsch
5.15	Separering/isolering av koldioxid	FK	RV	X	25-30	I olje- eller gasfält Förhöjd utvinning av olja
5.16	Separering/isolering av koldioxid	FK	RV	N	25-30	I salthaltig akvifärer
5.17	Separering/isolering av koldioxid	FK	RV	X	25-30	På stora havsdjup
5.2	<b>Naturgas, NG, LNG</b>	FK	(RV)	B		Kommer till slut i större omfattning
5.20	Kombikraftvärmeanläggningar	FK	E	B	20-30	Kombikraftvärme
5.21	Fjärrvärme	FK		B	20-30	Värmekraftvärme
5.22	Villavärme	FK		(B)	20	Tveksamt men möjligt i nya områden, ett alternativ till fjärrvärme
5.23	Fordonsgas	FK	(RV)	(N)	10-20	Bör seriöst övervägas
5.24	Syntesgas-/vätgasframställning	FK		N	25-30	Tveksamt om tillverkning för avsalu i Sverige
5.25	Gas-till-vätska, GTL	FK	N	N	25-30	NG till diesel fordonsdrift
5.26	Separering/isolering av koldioxid	FK	RV	X	25-30	i olje- eller gasfält ej tillämbart i Sverige
5.27	Separering/isolering av koldioxid	FK	RV	N	25-30	i salthaltig akvifärer
5.28	Separering/isolering av koldioxid	FK	RV	X	25-30	på stora havsdjup ej tillämbart i Sverige
5.29	Gashydrat	FK	N	X		Naturgas, NG i havsdjup, under permafrost
5.3	<b>Olja</b>	FK		X		Minskad betydelse för kraft och värmeproduktion
5.30	Kondenskraft	FK		B	20-30	Kraftproduktion, reservkraft pga låg verkningsgrad
5.31	Kraftvärme	FK		B	20-30	Värmekraftvärme, verkningsgrad ca. 35%, kombikraftvärme, verkningsgrad ca. 50%
5.32	Villavärme	FK		B	15-25	I hög grad ersatt
5.33	Fordonsdrift	FK	EB	B	15-20	bensin, diesel, LPG
5.34	Oljeskiffer	FK		(N)	25-30	Retortrar, ersättning/kompliment till olja
5.35	Tjärsand	FK	N	X		Athabasca, Kanada fn 550 000 fat per dygn

Tabell 2b.

Komponenter i det framtida energisystemet		FK Fossil koldioxid, CO <sub>2</sub> , FE Förnybar energi				
		E effektivisering, N ny process, RV reduktion av växthusgaser, EB Energibärare				
		Olycksrisk i Sverige: N ny risk, B befintlig risk, X ej tillämplig				
		Kap.	Tekn livstid, år Ny teknik i Sverige			
<b>5.4</b>	<b>Kärnenergi</b>	<b>FK</b>		<b>B</b>		Begränsning av koldioxidutsläpp
5.40	kärnkraft	<b>FK (N)</b>	<b>B</b>	60		Värmekraft kokareaktorer
<b>5.5</b>	<b>Biomassor, odling</b>	<b>FE</b>	<b>RV</b>	<b>B</b>		Energigrödor
5.50	Biobränslen för kraftvärme	<b>FE</b>	<b>RV</b>	<b>B</b>	30	Värmekraftvärmeproduktion
5.51	Biobränslen för villavärme	<b>FE</b>	<b>RV</b>	<b>N</b>	25	Etablerat
5.52	Biobränsleförgasning	<b>FE</b>	<b>RV</b>	<b>N</b>	15	Ev..syntesgas - nytt, svårt, dyrt
5.53	Biobränsle till vätska, BTL	<b>FE</b>	<b>N</b>	<b>N</b>	20-30	Fischer-Tropsch anläggning - nytt, svårt, dyrt
5.54	Svartlutsförgasning	<b>FE</b>	<b>N</b>	<b>N</b>	25-30	Syntesgas; metanol, dimetyleter/DME- nytt, svårt, dyrt; Ev kap ökn i sodapannan
5.55	Biobränsleförgasning, kraftvärme	<b>FE</b>	<b>RV</b>	<b>N</b>	15	Värme-/kraftvärmeproduktion
5.56	Avfallsbränslen	<b>FE</b>	<b>RV</b>	<b>B</b>	15-25	Värme-/kraftvärmeproduktion
5.57	Avancerade biobränslen, etanol	<b>FE</b>	<b>RV</b>	<b>B</b>	25-30	Etanol från säd, sockerrör, betor Majs från \$ 2,4 till 4.0; (20%) 38Mm <sup>3</sup> 80/2020
5.58	Avancerade biobränslen, biodiesel	<b>FE</b>	<b>RV</b>	<b>B</b>	25-30	Vegetabiliska oljor till metyl- eller etylestrar
5.59	Biogas	<b>FE</b>	<b>RV</b>	<b>B</b>	15-20	Värme, fordon
<b>5.6</b>	<b>Vattenkraft</b>	<b>FE</b>	<b>RV</b>	<b>B</b>		
5.60	Vattenkraftproduktion	<b>FE</b>	<b>RV</b>	<b>B</b>	50-100	I huvudsak färdigutbyggd i Sverige
5.61	Geotermisk värme	<b>FE</b>	<b>RV</b>	<b>(B)</b>	50	Värme, kraftvärme
5.62	Värmepumpar	<b>FE</b>	<b>RV</b>	<b>B</b>	15	Värme, kyla; Fortsatt utbyggnad för villavärme
<b>5.7</b>	<b>Vindenergi</b>	<b>FE</b>	<b>RV</b>	<b>B</b>		
5.70	Vindkraft	<b>FE</b>	<b>RV</b>	<b>B</b>	20-25	förhållandevis kraftig utbyggnad att vänta
<b>5.8</b>	<b>Solvärme och solkraft</b>	<b>FE</b>	<b>RV</b>	<b>N</b>		
5.80	Solvärmeproduktion	<b>FE</b>	<b>RV</b>	<b>N</b>	20-25	Småskaligt utnyttjande kan väntas
5.81	Solkraft med "tråg"-koncentratorer	<b>FE</b>	<b>N</b>	<b>N</b>	20-25	Tveksamt i Sverige
5.82	Solkraft med heliostater	<b>FE</b>	<b>N</b>	<b>N</b>	20-25	Tveksamt i Sverige
5.83	Solkraft med paraboliska koncentr.	<b>FE</b>	<b>N</b>	<b>N</b>	20-25	Tveksamt i Sverige
5.84	Solceller	<b>FE</b>	<b>N</b>	<b>N</b>	25-30	Intressant teknik, men flera år kvar

Tabell 2c.

Komponenter i det framtida energisystemet		FK Fossil koldioxid, CO <sub>2</sub> , FE Förnybar energi				
		E effektivisering, N ny process, RV reduktion av växthusgaser, EB Energibärare				
		Olycksrisk i Sverige: N ny risk, B befintlig risk, X ej tillämplig				
		Kap.	Tekn livstid, år Ny teknik i Sverige			
5.9	<b>Hydrogenteknologier</b>	EB	N		Säkerhetsmässig utmaning	Energibärare pga begr av fossila bränslen
5.90	Komprimerad hydrogen	EB	N	10-20		
5.91	Flytande hydrogen	EB	N	10-20		
5.92	Hydrogen som energibärare	EB	N	10-20	"M" + H <sub>2</sub> O = "M"O + H <sub>2</sub>	
5.93	Termokemisk hydrogenproduktion	N	N	10-20	SO <sub>2</sub> +I <sub>2</sub> +2H <sub>2</sub> O=H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> +2HI; 2HI=H <sub>2</sub> +I <sub>2</sub> (450°C); H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> =SO <sub>2</sub> +H <sub>2</sub> O+½O <sub>2</sub> (850°C)	
5.94	Bränsleceller	(N)	N	10-15		
5.95	Batterier	(N)	N	5-10		Nya typer, nya risker
5.96	<b>Energi effektivitet, besparingar</b>	E				
5.97	Utbudssidan	E				Utvinning av olja och gas; högre utvinningsgrad, Effektivare av fyndigheter
5.98	Efterfrågesidan	E				Symbol: Eco-marathon, 1939: 21 km/l; 2004: 4079 km/l.

I de följande avsnitten i kapitel 5 visas schematiska beskrivningar av de olika komponenterna i ett framtida energisystem. Färgkoderna har följande innebörd:

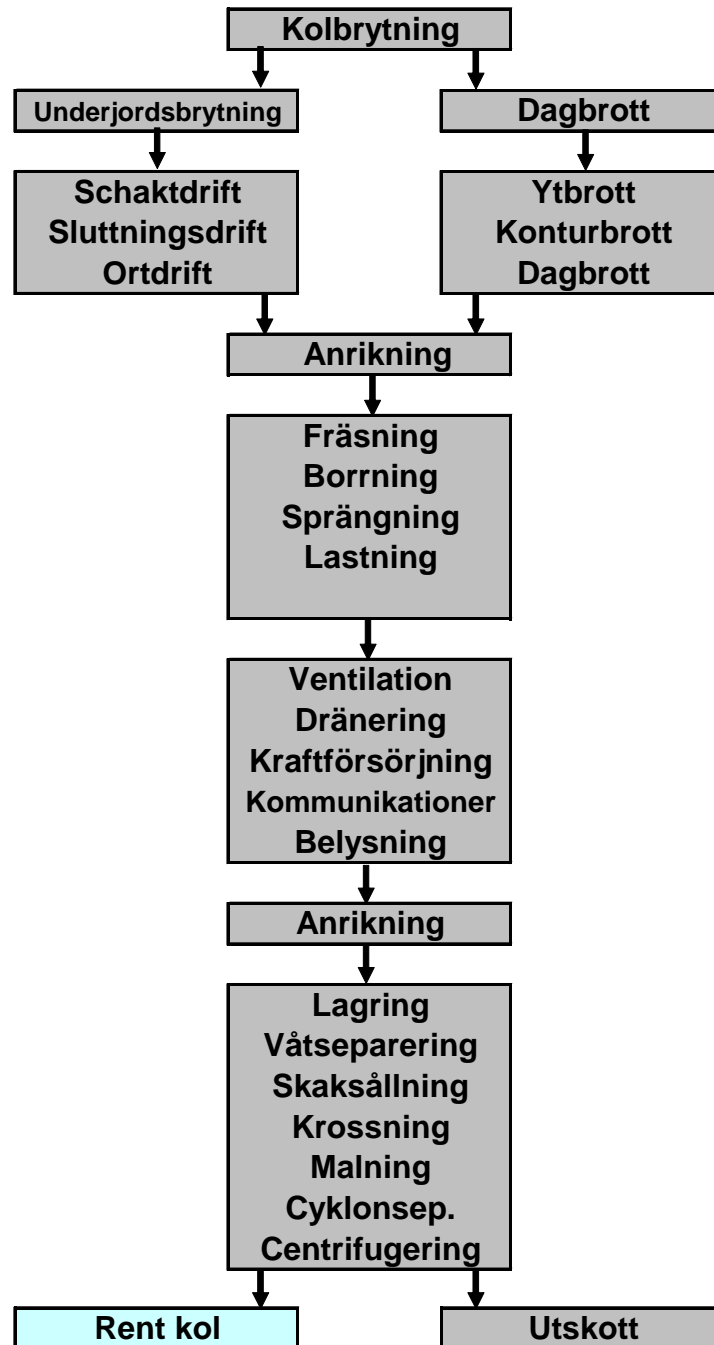
Tabell 3 Använda färgkoder i de efterföljande schematiska beskrivningarna

Beskrivning av länk i förädlingskedjan	Färgkod
Avser verksamhet som bedrivs utanför Sverige	
Verksamhet/länk som bedrivs i Sverige	
Råvara i schematisk processbeskrivning	
Byggnation/demontering (visas i några få fall)	
Verksamhet/länk som inte är aktuell (exv. inte tillåten)	



## 5.1 Kol

Den årliga världsproduktionen av kol uppgår till cirka 5800 miljoner ton (eller cirka 2900 miljoner ton oljeekvivalenter, Mtoe). Denna siffra kan ställas i relation till de kända kolreserverna som uppskattas till cirka 1 100 000 miljoner ton



Figur 5.1 Schematisk beskrivning av kolbrytning och anrikning

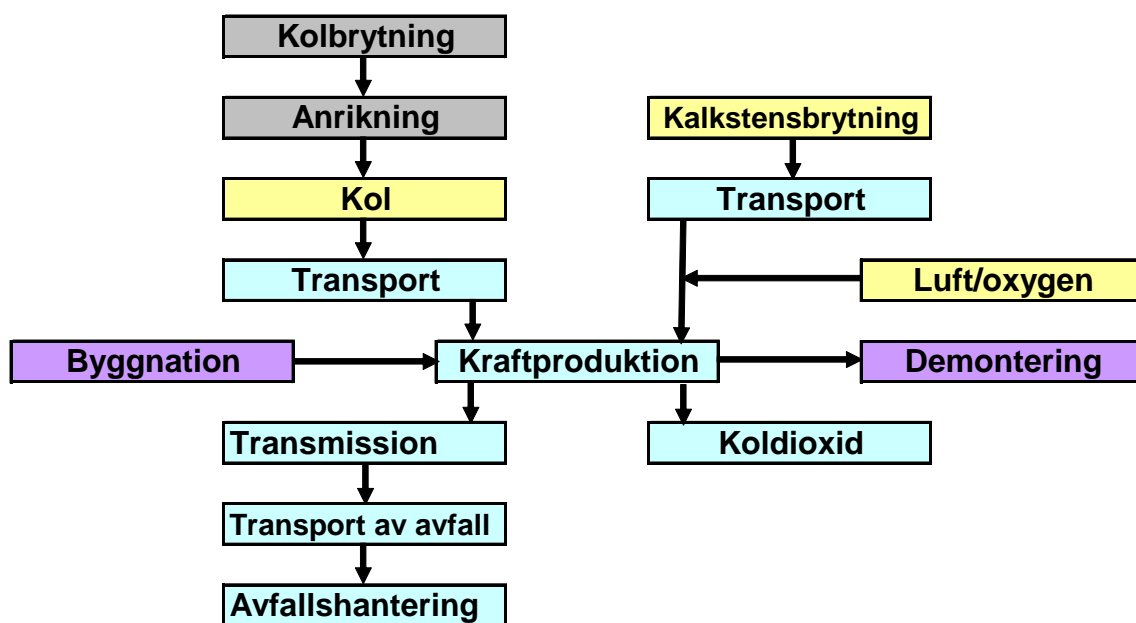
Med nuvarande förbrukningstakt skulle reserverna räcka under cirka 200 år. Kol står för drygt en fjärdedel av världens energiförbrukning (27,8%).

Bidraget (TWh) från kol utgör endast cirka 5 % av det svenska energisystemet. Användningen sker väsentligen för kokstillverkning avsedd för metallurgiska ändamål och för fjärrvärmeproduktion. Inga kolbrytning eller anrikning av kol förekommer i Sverige varför de olycksrisker som kan knytas till dessa steg i förädlingskedjan (Figur 5.1) inte är aktuella för svenskt vidkommande. Explosioner, bränder och ras som utgör en betydande del av riskerna som förknippas med kolgruvor inkluderas inte heller.

## 5.10 Kolkraft

Nedanstående beskrivning avser kondenskraft. Processen har i allmänhet en låg totalverkningsgrad, ca 35 % (moderna kolkraftverk med superkritisk ånga har verkningsgrader över 40 %), vilket tillsammans med vårt behov av fjärrvärme gjort att mottryckskraft är en attraktivare teknisk lösning med ett bättre utnyttjande av energin (23, 24, 25). Det är värt att notera att kol ofta har en dominerande ställning inom kraftproduktion. På grund av klimatproblemet kommer konventionell kondenskraft sannolikt endast att användas som reservkraft såvida inte koldioxiden kan tas omhand på ett tillfredsställandesätt. Inom U.S. Department of Energy's (DOE's) Coal and Power System Programs har man formulerat en Vision 21 med följande mål (23):

- Kraftproduktion: Verkningsgrad över 60 % då kol används (75 % vid naturgasanvändning)
- Kraftvärmeproduktion: Total verkningsgrad 85-90%
- Konventionell miljöpåverkan: Nära nollutsläpp av vedertagna miljöföroreningar
- Växthusgaser: Nära 40-50% reduktion av koldioxidutsläppen, nollutsläpp om kopplad till isolering och lagring (sekvestrering) av koldioxid
- Biprodukter: Rena bränslen som vi har råd med, ånga och bränslegas



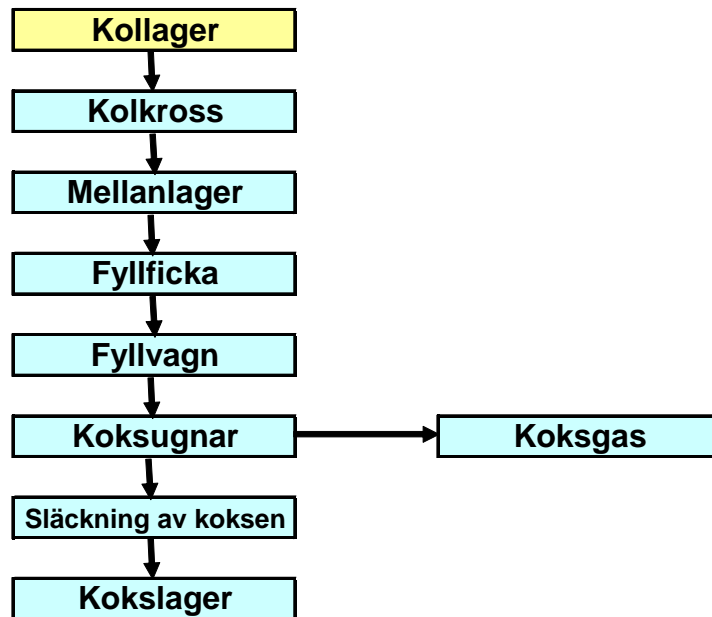
Figur 5.10 Schematisk beskrivning av en kondenskraftanläggning

Riskerna i samband med användningen av kol är välkända. Minskad användning reducerar de kända riskerna.

## 5.11 Kokstillverkning

Koksproduktion sker i Sverige enbart för behov inom metallurgin inom SSAB i Luleå respektive Oxelösund. Inga kända planer finns för förändring av koksproduktionen under perioden.

Inga nya eller förändrade olycksrisker bedöms föreligga. Tekniken är känd och företaget är väl förtrogen med densamma. Användningen av koks inom masugnsproduktionen av järn är känd och faller utanför ramen för denna studie. En eliminering av användningen koks förutsätter ett totalt processbyte vilket inte ligger inte inom planeringshorisonten. En schematisk skiss av byggnation och demontering har utelämnats för att inte tynga beskrivningen.

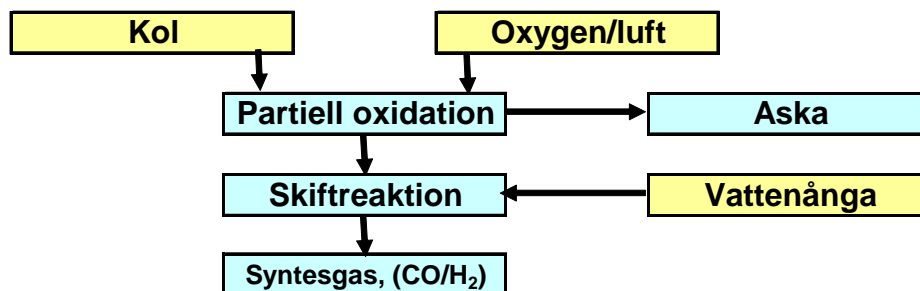


Figur 5.11 Schematisk beskrivning av koksproduktion

## 5.12 Kolför gasning

Vid ofullständig förbränning av kol med oxygen (luft) bildas koloxid (26). Den bildade koloxiden kan utnyttjas som bränsle och utgjorde länge en viktig komponent i stadsgas och utgör den brännbara komponenten i masugnsgas.

Då kolför gasning kombineras med efterföljande skiftgasreaktion kan en syntesgas framställas: kolet i det första steget reagerar med vatten och oxygen (luft) varvid det bildas hydrogen, koloxid och koldioxid. Vid skiftgasreaktionen överförs koloxid till koldioxid samtidigt som ytterligare hydrogen bildas. De olika processtegen avpassas så att man får en syntesgas med önskad sammansättning. Syntesgasproduktion används för storskalig tillverkning av viktiga kemikalier som ammoniak och metanol. Beroende på avsedd tillverkning kan gasens sammansättning regleras. En syntesgasanläggning kan utnyttjas för hydrogenproduktion och hydrogenen i sin tur kan utnyttjas som energibärare. Då oxygen utnyttjas underlättas en eventuell separation av koldioxid för deponering enligt 5.16 – 5.18.



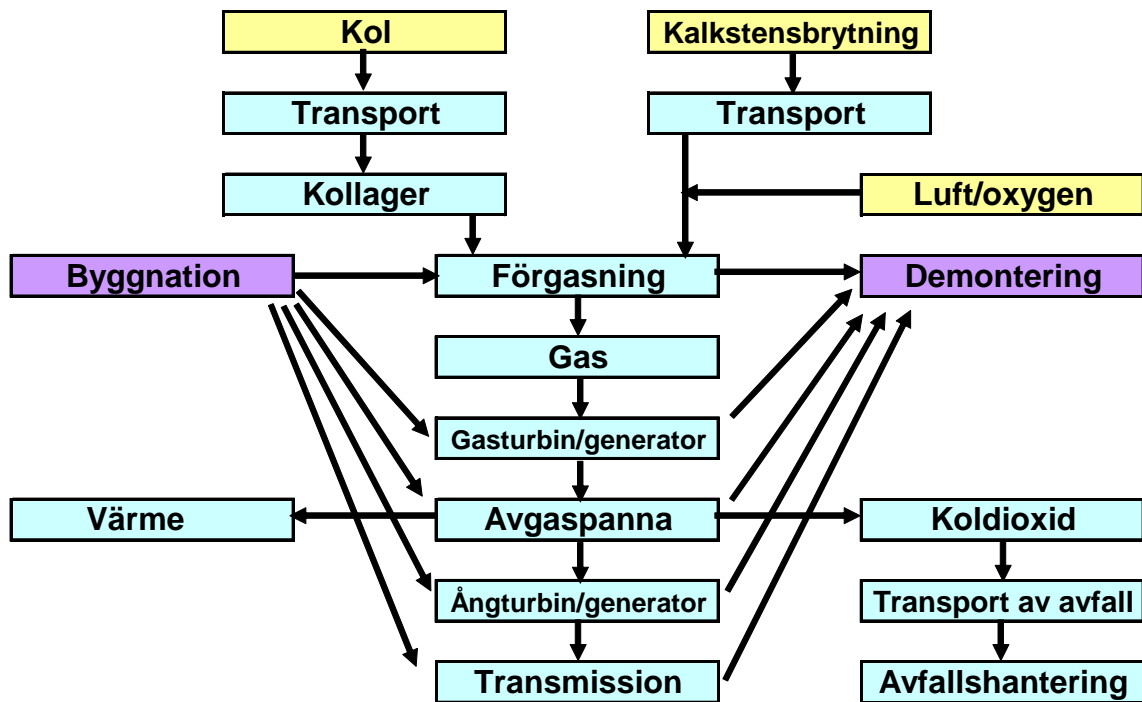
Figur 5.12 Kolför gasning genom partiell oxidation och ångreforming

Processen bedöms inte ha någon framtid i Sverige. Syntesgas kommer att framställas utifrån naturgas.

### 5.13 Kolförgasning och kombikraftvärmeproduktion

Den producerade energirika gasen från en kolförgasningsanläggning kan utnyttjas för elkraftproduktion i en gasturbin varefter de heta avgaserna kan utnyttjas i en ångturbin vilket ger en högre totalverkningsgrad än vad som blir fallet i en kondenskraftanläggning (50 %, Integrated gasification Combined Cycle, IGCC).

I figur 5.13 har byggnation och demontering infogats för att ge en påminnelse om livscykelaspekterna på processen. Begränsningen i en framtid av utsläppen av växthusgasen koldioxid förutsätter sannolikt att bildad koldioxid tas omhand och deponeras på ett säkert sätt för lång tid framåt.



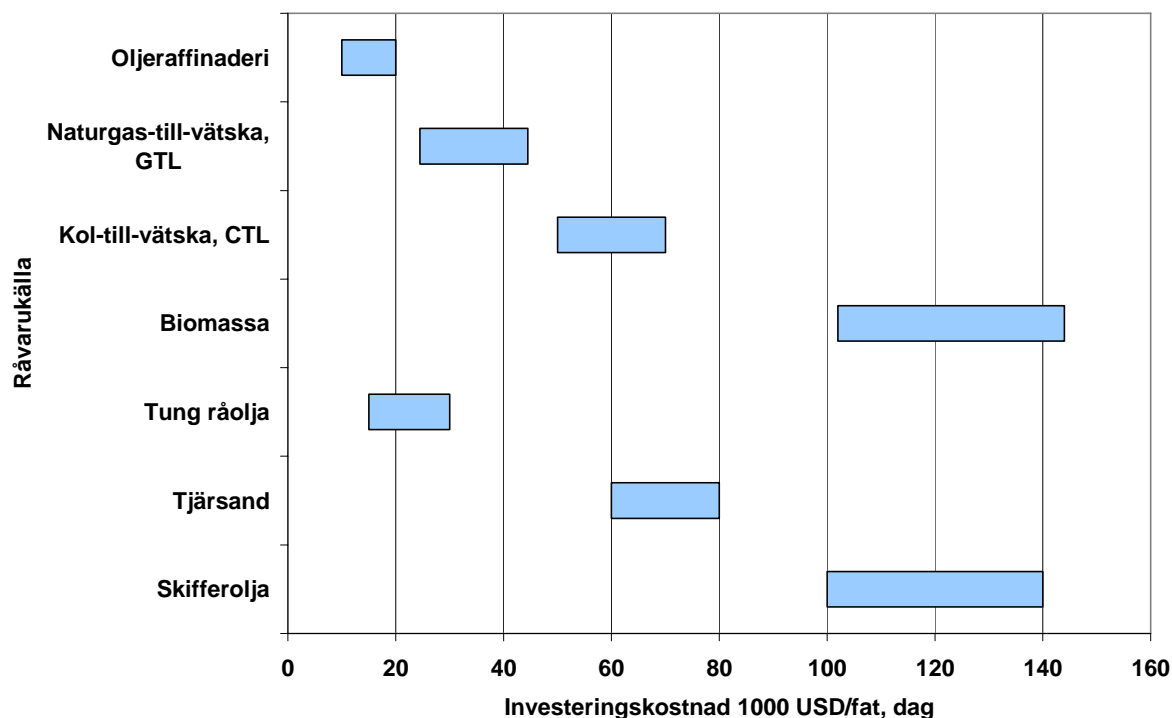
Figur 5.13 Kolförgasning och kombikraftvärmeproduktion

## 5.14 Kol-till-vätska (Coal-toLiquid, CTL) med Fischer-Tropsch processen

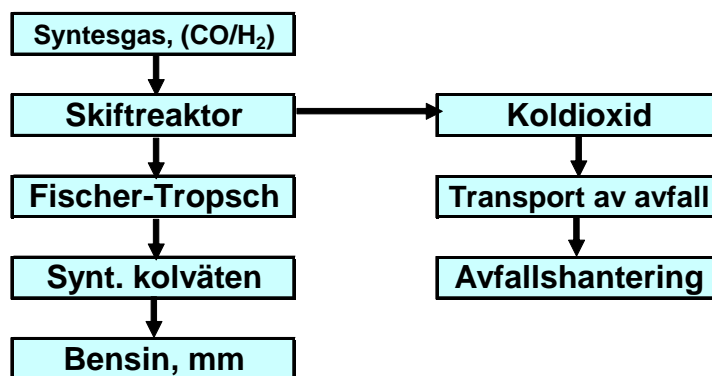
Syntesgas som framställts med hjälp av kolförgasning och ångreformeringsprocesser kan utnyttjas som råvara i en Fischer-Tropschanläggning för tillverkning av flytande kolväten för drivmedelsanvändning. Processen har framför allt praktiserats under avspärrningsförhållanden i Tyskland under andra världskriget och i Sydafrika under apartheidperiodens senare del. I båda fallen har processen utnyttjats i länder med god tillgång till kol men avsaknad av olja.

Fischer-Tropsch processen kommer sannolikt att få en renässans i och med att råoljepriserna stigit som en konsekvens av en förväntad annalkande brist på olja och speciellt om de fortsätter att stiga ytterligare. Fischer-Tropsch processen bedöms dock inte ha någon framtid i Sverige. Den torde i första hand övervägas där det finns tillgång till kol och sannolikt även en deponimöjlighet för (delar av) den bildade koldioxiden. Tabell 4 visar de ungefärliga investeringskostnader som krävs för syntes av flytande bränsle från olika energikällor (126). Ett skäl som talar för kol som råvara är det förhållandevis stabila och låga priset.

Tabell 4. Investeringskostnader för framställning av flytande drivmedel



Fischer-Tropsch processen sker alltid kopplad till en förgasningsanläggning av typ 5.12.



Figur 5.14 Kol till vätska med Fischer-Tropsch processen

### 5.15 – 5.17 Separation/isolering och deponering av koldioxid

För att kunna utnyttja de stora mängder kol som finns tillgängligt och samtidigt undvika kraftiga utsläpp av växthusgasen koldioxid har flera sätt att isolera och deponera koldioxiden utvecklats (27, 28). I dag deponeras koldioxid i olje- och gasfält som en åtgärd för att hålla trycket uppe i formationen och därigenom öka utbytet av gas och/eller olja från fyndigheten i fråga. Injiceringen av koldioxid har i dessa sammanhang motiverats av lönsamhetsskäl. I de fall den producerade naturgasen innehåller koldioxid så kan den separeras från naturgasen och återföras till fyndigheten. I och med problemet med växthuseffekten vilket anses bero på utsläpp av, i första hand koldioxid, till atmosfären och det faktum att det etablerats ett pris på utsläppen så har det blivit intressant att återföra koldioxid från exempelvis gasturbiner.

Koldioxiden separeras ifrån och komprimeras för att därefter lagras (deponeras). Tre olika deponeringsförslag har lanserats:

- Injektion i olje- eller gasfyndigheter (eller kolförande lager ur vilka metangas utvunnits)
- Injektion i salthaltig akvifär
- Deponering i djuphavet

Enligt Londonkonventionen från 1972 – *Convention on the Prevention of Marine Pollution by Dumping of Waste and other Matter* är deponering av vissa avfall i havet förbjudet.

I ett tillägg 1996 utökas bilaga I (Svarta listan) till konventionen med industriavfall. Det kan antas att koldioxid måste betraktas som industriavfall i enlighet med bilaga I (det finns i alla händelser inget undantag för koldioxid) och således inte får deponeras i djuphavet. Om deponering av koldioxid skulle ske i stor skala kommer det att påverka ekosystemet inom området kraftigt och på längre sikt medföra en allmän pH-sänkning. På längre sikt skulle den deponerade koldioxiden genom diffusion och strömning spridas i världshavet och slutligen leda till en ny jämvikt med koldioxiden i lufthavet. Deponering på djup under 3000m skulle det bildas koldioxidhydrat, men utan fysiska barriärer skulle koldioxiden lösas och spridas med de konsekvenser som indikerats ovan. Deponering i en läckande akvifär skulle likaså medföra att koldioxiden sprids i havet.

Det finns en betydande erfarenhet av att deponera koldioxid i fyndigheter för att öka utbytet av olja (sekundär oljeutvinning) eller gas. Man uppskattar (tabell 5) att det i tömda olje- och gaskällor finns möjlighet att lagra 675-900 Mt koldioxid (26).

Tabell 5. Möjlig deponering av koldioxid

Deponi (IPCC 2005)	Lagringskapacitet rel. dagens CO <sub>2</sub> produktion	Lagringskapacitet, Mt
<b>Olje och gasfält</b>	<b>30 - 40 ggr</b>	<b>675 - 900</b>
<b>Stimulerad oljeutvinning</b>	<b>3 - 5 ggr</b>	
<b>Stenkolsflöts</b>	<b>0,13 - 9</b>	
<b>Salthaltiga akviferer</b>	<b>40</b>	

Separering av koldioxid från rökgaserna är energikrävande och förknippat med betydande rörliga och fasta kostnader. Koldioxiden kan skiljas ut från resterande permanenta gaser, i huvudsak kväve genom absorption. Ett alternativ är att utnyttja ren oxygen för förbränningen och på så sätt få ett enklare separationsproblem. Tabell 6 redovisar energibehovet för två fall, stenkols- respektive brunkolsförbränning. För brunkol blir den ökade energiförbrukningen betydande, sannolikt prohibitiv. Tabell 6 visar kostnaderna för åtgärderna (27).

Tabell 6. Energiförbrukning för separation och lagring av koldioxid

Enl. WBGU	Storskalig användning av stenkol	Storskalig användning av brunkol
<b>Koldioxid isolering och lagring; (Carbon dioxide Capture and Storage, CCS)</b>	<b>80 till 90 %</b>	<b>(80 % ?)</b>
<b>Energikrav</b>	<b>+ 16 till + 31 %</b>	<b>+ 70 %</b>
<b>Utökad koldioxid produktion</b>	<b>+ 20 till +40 %</b>	<b>+ 100 %</b>

Tabell 7. Kostnad för koldioxid separation och lagring

Växelkurs SEK 7/USD	SEK/t	Källor:
<b>Koldioxid separation</b>	<b>77 - 399</b>	WBGU (IPCC 2005)
	<b>SEK/5000 km</b>	
<b>Koldioxid - båttransport</b>	<b>105 - 175</b>	WBGU (IPCC 2005)
	<b>SEK/1000 km</b>	
<b>Koldioxid - rörtransport</b>	<b>28 - 210</b>	WBGU (IEA 2004, IPCC 2005)
	<b>SEK/t</b>	
<b>Koldioxid injektion i lager</b>	<b>3,5 - 56</b>	WBGU (IPCC 2005)
<b>Totalt cirka (Förnybara bränslen)</b>	<b>140 - 700 (70 - 140)</b>	WBGU (IPCC 2005) WBGU (IEA 2004)
	<b>SEK/MWh</b>	
<b>Ny anläggning</b>	<b>84 - 238</b>	WBGU (IPCC 2005)
<b>Äldre kompletterad anläggning.</b>	<b>231 - 308</b>	WBGU (IPCC 2005)
<b>Elproduktion i ny kolkraftanl.</b>	<b>175 - 385</b>	WBGU (IPCC 2005)
<b>Elproduktion i äldre kolkraftanl.</b>	<b>315 - 560</b>	WBGU (IPCC 2005)
<b>Fördyring vid koldioxidlagring</b>	<b>+ 30 till + 60 %</b>	WBGU (IPCC 2005)



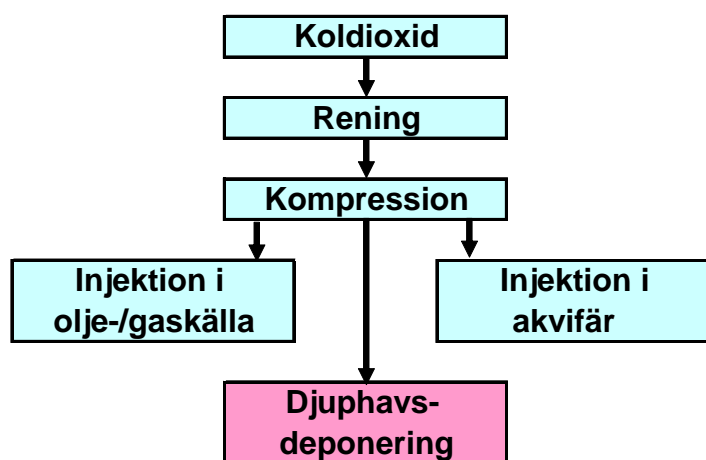
Av tabell 7 framgår att separation och lagring av koldioxid ökar kostnaderna för kraftproduktion med 30 till 60 % för en ny anläggning, medan en komplettering av en befintlig anläggning blir betydligt mer kostsamt.

Säkerheten för att deponeringen kan ske tillförlitligt har uppskattats så att det är mycket troligt att mer än 99 % förblir i deponin de första 100 åren och att det är sannolikt att 99 % förblir i deponin under 1000 år. En överslagsmässig uppskattning visar dock att lagringssäkerheten måste kunna drivas längre än till den senare nivån för att resultatet skall kunna anses tillfredsställande (tabell 8). Tabellen baseras på några av IPCC's scenarier för snabb ekonomisk tillväxt (IPCC har studerat ett 40-tal olika scenarier grupperade i 4 scenariefamiljer med olika antaganden om utvecklingen).

Tabell 8. Scenarier och emissionsbegränsningar

IPCC 2000 SRES - scenario 1990 - 2100, temperaturbegränsning +2°C	Koldioxidemission 1990-2100, Gt (räknat som kol)	Uppskattat behov av emissionsbegränsning, GT
Scenario A1B1 (balanserat)	1000	500
Medium Level	1500	1000
Senario A1FI (fossilbränsle intensivt)	2200	1700
Långsiktigt hållbart utsläpp		1 Gt/år

Vid ett läckage motsvarande 0,1 %, det vill säga under 1000 års tid, så skulle fortfarande läckaget motsvara 100 % av acceptabel utsläppsnivå. Som ett riktmärke skulle därför ett läckage på 0,01 % motsvarande en lagringstid på 10 000 år förefalla nödvändigt (27).



Figur 5.15 – 5.17 Separation/isolering och deponering av koldioxid

Olycksrisker i samband med koldioxid kan ofta kopplas till att gasen är tung och således kan samlas i lågt belägna (sluta) utrymmen. Läckage från rörledningar med komprimerad koldioxid kan orsaka olyckor, men risken är mindre än för brännbara gaser som naturgas. Det är först vid koncentrationer uppemot 7 till 10 % som fara för liv föreligger. Det finns dokumenterade olyckor i kolgruvor som kan kopplas till koldioxid (förutom metangas- och koldammsexplosioner). Naturolyckor med koldioxid har inträffat i Kamerun där plötslig frigörelse av koldioxid i två vulkansjöar, Monoum och Nyos orsakade 1700 människors död (liksom djurliv). Uppskattningsvis 80 millioner m<sup>3</sup> uppskattas ha frigjorts och drivit som ett tungt moln och orsakat död bland människor och djur upp till 10 km från sjön. Svårbedömda konsekvenser av ett stort utsläpp/frigörelse av koldioxid i havet pekar på att lagring i havet är olämpligt och dessutom icke tillåtligt enligt Londonkonventionen.

## 5.2 Naturgas, flytande naturgas LNG

Den årliga produktionen av naturgas motsvarar 2475 Mtoe (2,3 Tm<sup>3</sup>), eller knappt en fjärdedel (23,5 %) av den totala förbrukningen av primära energikällor. De kända och bekräftade gasfyndigheterna utgör sammanlagt cirka 180 Tm<sup>3</sup>. Här till kommer mycket stora, men inte lika säkra uppgifter om fyndigheter av metangashydrat (se 5.29). Kända, konventionella naturgasfyndigheter räcker i cirka 75 år med dagens förbrukningstakt (29, 30, 31).

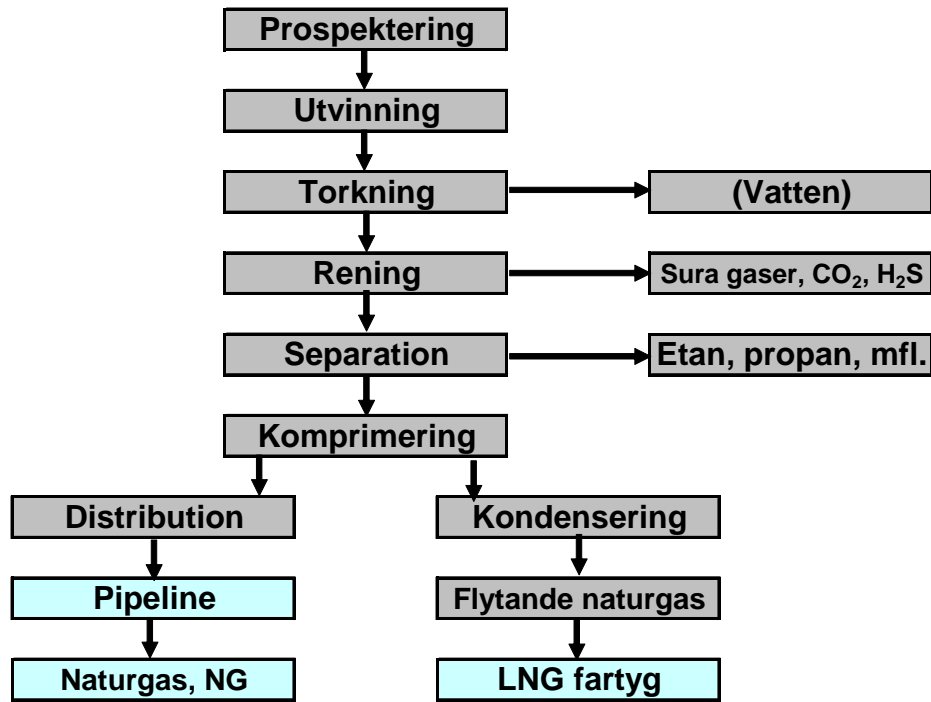
Det huvudsakliga sättet att distribuera naturgas är som komprimerad gas via gasnät.

I takt med att mer svårtillgängliga gasfyndigheter exploateras så ökar distribution av flytande naturgas, (LNG). Flytande naturgas produceras genom en stegvis nedkylning med hjälp av kylkompressorer (32, 33). Som kylmedium används ofta propan, eten och naturgas i nämnd ordning.

Ett tredje sätt att distribuera energikällan är att konvertera naturgasen till flytande produkter (GTL) som metanol eller flytande syntetiska kolväten.

Utvinning av naturgas sker endast i obetydlig utsträckning i Sverige (för privata ändamål i Motalaområdet). Hittills har naturgas importerats från Danmark i blygsam utsträckning (motsvarande cirka 1 % av energiförbrukningen) i gasledning för användning inom industrin, för värme och kraftvärmeproduktion (ca 40 % vardera) och ca 17 % för privata ändamål. Naturgasanvändningen kommer med all sannolikhet att öka markant i samband med att gasledningarna byggs ut och således når fler förbrukare. Naturgasanvändningen ute i Europa ligger på nivån 20 % och det finns skäl att tro att den svenska förbrukningen kommer att närma sig den nivån. Naturgas eller metangas är kemiskt identiskt med biogas och sumpgas. Naturgas i komprimerad form kan användas för fordonsdrift och leder då till kraftigt sänkta utsläpp av växthusgasen koldioxid. Samma sänkning av utsläppen av växthusgaser sker om olja (diesel) ersätts med naturgas.

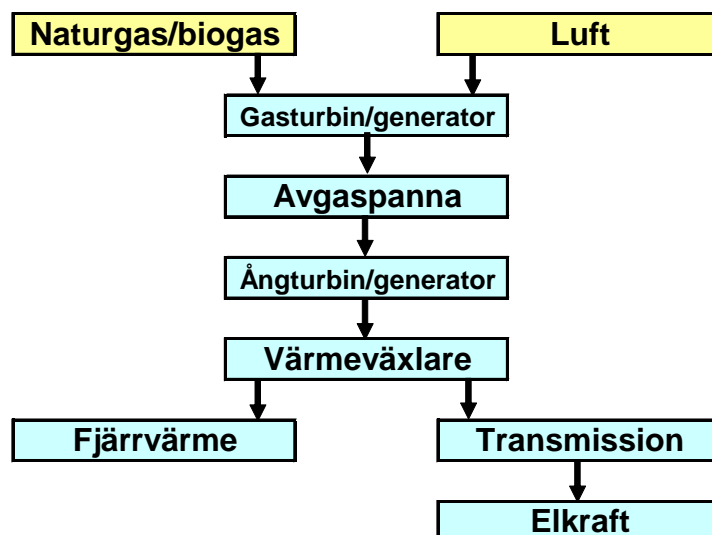
I Sverige finns i dag inga mottagningsanläggningar för flytande naturgas (LNG), men i takt med att distributionen av LNG byggs ut kommer säkerligen den leveransformen att övervägas.



Figur 5.2 Utvinning av naturgas

## 5.20 Kombikraftvärmeanläggningar

Naturgas kan utnyttjas för drift av gasturbiner avsedda för reservkraftbehov. Fördelarna ligger i förhållandevis låga investeringskostnader och möjligheten att starta och fjärrstyra driften av anläggningarna. Låg verkningsgrad cirka 35 % gör lösningen olämplig för kontinuerlig användning. Om däremot gasturbinen kombineras med en efterföljande ångturbin och om värme dessutom kan utnyttjas fjärrvärmeändamål som är fallet i en kombikraftvärmeanläggning blir totalverkningsgraden betydligt mer tilltalande, cirka 50 %.

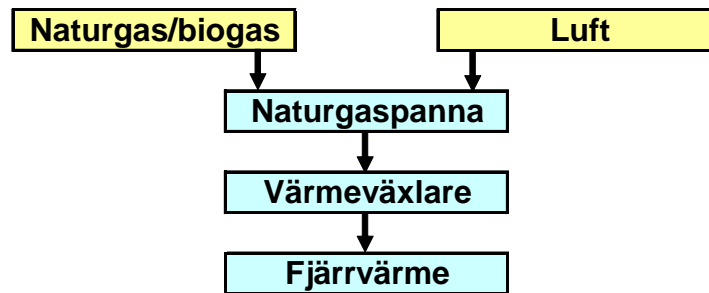


Figur 5.20 Kombikraftvärmeanläggning för kraft och värmeproduktion

Biogas kan i mån av tillgång användas som tillskottsbränsle för driften. Utsläppen av koldioxid blir markant lägre (-23 %) för en naturgasbaserad anläggning i jämförelse med en oljeeldad anläggning. I det fall bildad koldioxid skall deponeras kommer anläggningen sannolikt att utnyttja ren oxygen än luft som angivits i skiss 5.20.

## 5.21 Fjärrvärme

Gas har haft begränsad betydelse för fjärrvärmeproduktion i första hand på grund av begränsad utbyggnad av naturgasnätet i Sverige. Användningen av bränsle för fjärrvärmeändamål styrs därefter i första hand av kostnadshänsyn där skatter och avgifter väger tungt.



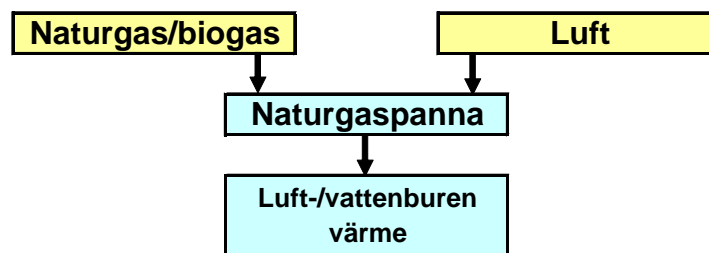
Figur 5.21 Fjärrvärme

Totalkostnaden blir styrande i de fall gasalternativet finns. En fördel som naturgas kan erbjuda är den lätthet med vilken en gaseldad fjärrvärmeanläggning kan automatiseras och fjärrstyras.

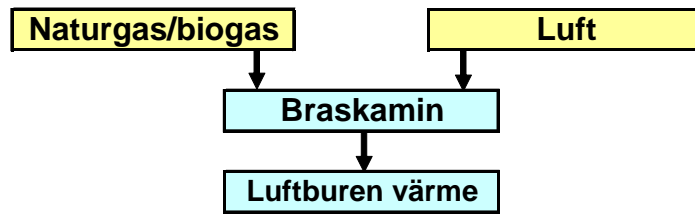
Fjärrvärme baserad på naturgas medför lägre koldioxidutsläpp i jämförelse med produktion baserad på eldningsolja. Naturgas kan erbjuda ett intressant komplement till biobränslebaserade anläggningar och alternativ för reservanläggningar. Den viktigaste invändningen mot naturgas i dag är den begränsade utbyggnaden av gasnätet. Naturgas drift är ett driftsäkert alternativ.

## 5.22 Villavärme

En betydande andel av villavärmen är redan konverterad till biobränslen och värmepumpar. För den del av bygnadsbeståndet som fortfarande har direktverkande elvärme ställer sig ett byte till gas osannolikt dyrt då det förutsätter utbyggnaden av ett gasnät. Utbyggnaden av fjärrvärme är likaså kostnadskrävande då även det förutsätter kostsamma kompletteringar i fastigheterna. Luftvärmepumpar förefaller ligga närmare tillhands för fastigheter med direktverkande el.



Figur 5.22 Villavärme 1 Naturgaspanna

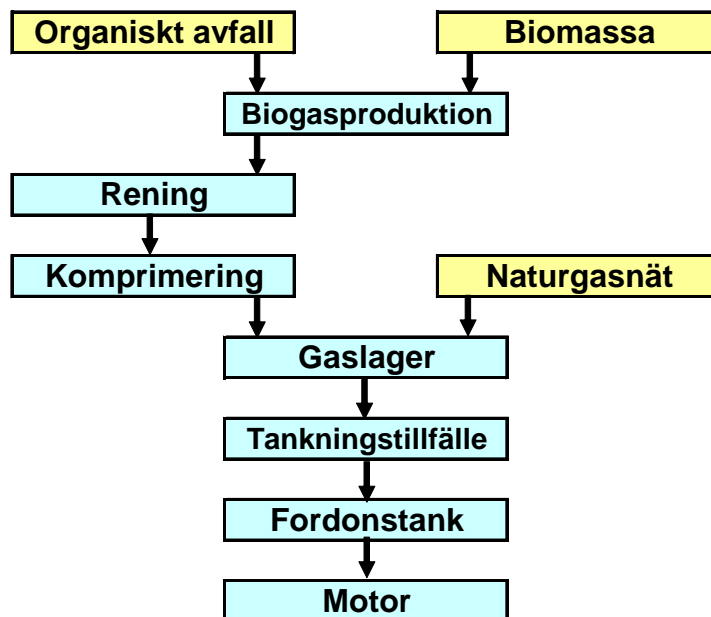


Figur 5.22 Villavärme 2 Braskamin

### 5.23 Fordonsgas

Tekniken för drift av fordon med komprimerad naturgas finns även om lagringskapaciteten i fordonen och därmed körsträckan mellan tankningstillfällena blir begränsad. Tekniken erbjuder likaså möjligheten att utnyttja biogas då sådan finns att tillgå. Om ett nät av tankningsstationer för gas etableras så skulle det sannolikt innebära ett utökat intresse för biogas, speciellt om en prisdifferentiering införs. I figur 5.23 har såväl lokalt producerad biogas som anslutning till ett gasnät markerats. Ytterligare ett alternativ är möjligt med leverans av naturgas till ”bensinstationen”.

I Sverige har det etablerats ett samarbete mellan AGA Gas AB å ena sidan och Statoil, OKQ8, Shell, Uno-X samt Tanka upp å andra sidan. AGA distribuerar, bygger och sköter biogasstationer. Fordonsgas utgör i dag en försvinnande liten del av energiförbrukningen inom den totala transportsektorn. Att i stor skala introducera en helt ny teknik för privata fordon innebär att ett synnerligen robust system för att fylla på gas måste finnas att tillgå. Detta är en förutsättning för att olycksriskerna skall kunna hållas på en låg nivå i absoluta tal och relativt sett.



Figur 5.23 Fordonsgas

### 5.24 Syntesgas-/hydrogenframställning

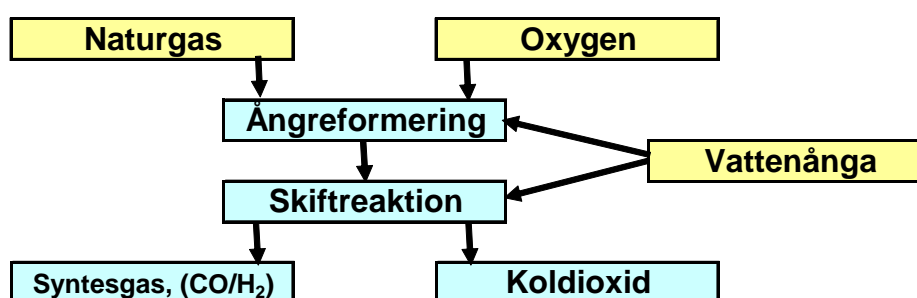
Naturgas utnyttjas som råvara för produktion av syntesgas vilken kan användas inom flera användningsområden och för produktion av ett flertal olika produkter (74). Beroende på önskad gassammansättning så sker en partiell oxidation och ångreformering av naturgasen och därefter om så önskas en skiftgasreaktion för att ytterligare öka andelen hydrogen. I det första steget bildas koloxid och hydrogen i det senare steget kan kvarvarande koloxid omsättas till hydrogen och koldioxid. Den senare lösningen är intressant då syftet är produktion av hydrogen och syntes av ammoniak. Om

hydrogenen är tänkt att användas för framtida fordonsdrift torde deponering av bildad koldioxid vara en förutsättning för att över huvud taget kunna motivera det omständigare och därmed dyrare och mindre effektiva omvägen från naturgas till fordonsdrift. Processtekniskt finns avgörande fördelar med att producera syntesgas från naturgas i stället för petroleumprodukter eller kol. I dag beräknas 90 % av all hydrogen produceras från naturgas.

Tabell 9. Syntesgassammansättning och användning

Syntesgas; sammansättning, koldioxid: hydrogen (CO: H <sub>2</sub> )	Tänkt produktion
1:1	Aldehyder från olefiner via oxoprocesser
1:2	Metanol
1:2	Fischer-Tropsch syntes av kolväten
Mesta möjliga mängd hydrogen (genom att koldioxiden reagerar med vattenånga med hjälp av katalysator till koldioxid (avlägsnas) och hydrogen	Hydrogen eller ammoniak

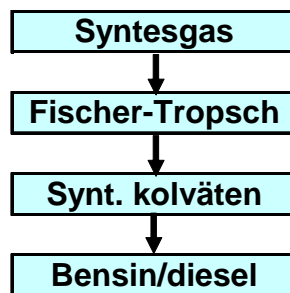
I Stenungsund produceras sedan en tid tillbaka syntesgas från naturgas för produktion av aldehyder och alkoholer från olefiner. Naturgas används även inom raffinaderier för framställning av hydrogen. Hydrogen framställs till 90 % från fossila bränslen, huvudsakligen ifrån naturgas. Resterande hydrogen produceras genom elektrolys och även som biprodukt vid elektrolytisk tillverkning av kloralkali och klorat.



Figur 5.24 Syntesgas-/hydrogenframställning

## 5.25 Gas-till-vätska, GTL

När stora mängder naturgas erhålles som biprodukt i samband med oljeutvinning och där ingen lokal marknad finns för gasen, eller då gasfyndigheten är belägen långt från möjliga avsättningsområden, då krävs alternativa åtgärder för att distribuera exergin (34, 35). Produktion av LNG eller någon form av GTL (i allmänhet avses syntetisk diesel, men även metanol och ammoniak) kan vara attraktiva alternativ till att fackla bort gasen. Fördelarna med syntetisk diesel är att man får tillgång till ett svavelfritt bränsle utan aromater. Produktionen av GTL uppskattas inom de närmaste åren uppgå till knappt 1 million fat/dygn (160 000 m<sup>3</sup>/dygn). Produktionen av syntetiska drivmedel (diesel) anses vara lönsam då råoljepriset långsiktigt förblir över \$ 20 – 25 per fat. Den nödvändiga tekniken är ur ett riskperspektiv jämförbar med en petrokemisk anläggning.



Figur 5.25 Gas-till-vätska, GTL

### 5.26-5.28 Separering/isolering och deponering av koldioxid

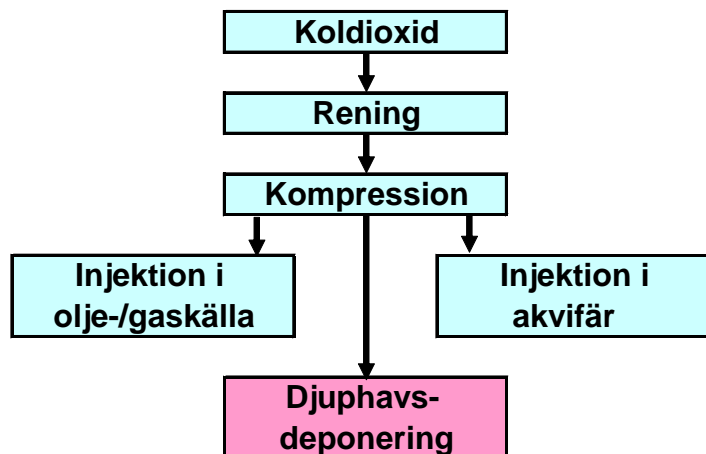
Vad som tidigare noterats för kol (5.15-5.17) gäller även för andra fossila energikällor som naturgas (27, 28). Som tidigare nämnts så deponeras i dag koldioxid i olje- och gasfält som en åtgärd för att hålla trycket uppe i formationen och därigenom öka utbytet av gas och/eller olja från fyndigheten i fråga. Injiceringen av koldioxid motiveras med miljöskäl men kan i dessa sammanhang ofta motiveras med lönsamhetsskäl. I de fall den producerade naturgasen innehåller koldioxid så kan den separeras ifrån och återföras till fyndigheten. I och med problemet med växthuseffekten vilket anses bero på utsläpp av växthusgaser, i första hand koldioxid, till atmosfären och det faktum att det etablerats ett pris på utsläppen så har det blivit intressant att återföra koldioxid från exempelvis gasturbiner. Koldioxiden separeras ifrån och komprimeras för att därefter deponeras. Tre olika deponeringsförslag har lanserats:

- Injektion i olje- eller gasfyndighet (eller kolförande lager ut vilket metangas utvunnits)
- Injektion i salthaltig akvifär
- Deponering i djuphavet

Det finns en betydande erfarenhet av att deponera koldioxid i fyndigheter för att öka utbytet av olja eller gas. 30 Mt koldioxid separerad från naturgas har deponerats i oljekällor i Texas sedan början av 1970-talet. 1 Mt koldioxid per år har återförts till Sleipnerfältet sedan 1996 och 0,7 Mt återförs från 2007 i Snøhvitfältet. I Pisgah förkastningen i Mississippi har uppskattningsvis 200 Mt koldioxid varit instängd de senaste 65 miljoner åren. Man uppskattar att det i tömda olje- och gaskällor finns möjlighet att deponera 675-900 Mt koldioxid. En möjlig tillämpning skulle kunna vara "parkontrakt":

- Kontrakt 1: leverans av naturgas
- Kontrakt 2: deponering av koldioxid i olje- eller gasfyndighet

Den levererade gasen skulle därmed kunna betraktas som utsläppsfri i motsvarande grad. Detta skulle kunna vara en intressant lösning för naturgasdrift av fordon.



Figur 5.26-5.28 Separering/isolering och deponering av koldioxid

## 5.29 Gashydrat

Metanhydrat (eller metan klatrat) har på senare år fångat ett stort intresse som en möjlighet att möta stegrade behov av energi. U. S. Geological Survey (USGS) har i vad man kallar en konservativ uppskattning bedömt att dubbelt så mycket kol finns bundet i gashydrat<sup>2</sup> som i alla andra fossila bränslen på jorden sammantaget (36, 37, 38, 39, 40). Metangashydrat har utvecklats från att ha betraktats som ett kuriosum eller praktiskt problem till att bli ett extremt intressant alternativ strategisk energikälla för länder som USA och Japan vilka på ett avgörande sätt är beroende av import av gas eller olja såvida inte andra alternativ kan finnas. Medan kända konventionella naturgasfyndigheter motsvarar 180 Tm<sup>3</sup>, varav Ryssland står för cirka 25 Tm<sup>3</sup>, så uppskattas de okonventionella fyndigheterna metangas i kolfyndigheter och metanhydrat till fantasieggande minst 1000 (till 1 700 000) Tm<sup>3</sup>.

Om dessa volymer kommer att kunna bekräftas och så skulle de räcka för att tillfredsställa dagens naturgasbehov under 400 (till 700 000) år!

Metangas hydrat kan förekomma dels på havsbotten på djup under 300 m och under tundraområden i norra Sibirien och Kanada. Enbart inom USA:s ekonomiska zon uppskattas fyndigheterna uppgå till 9 Pm<sup>3</sup> (9 000 000 000 000 000 m<sup>3</sup>) utanför kusterna och i Alaska. 1997 uppskattades de bekräftade konventionella gasfyndigheterna i USA till 5 Tm<sup>3</sup> att jämföras med en årlig förbrukning om 0,6 Tm<sup>3</sup>. Om de ofantliga gashydratfyndigheterna skulle bekräftas och gå att exploatera så skulle det vara tillräckligt för 15 000 års förbrukning i USA. Inga hänsyn har då tagits till behovet att reducera utsläppen av växthusgaser.

Metangasen kan frigöras på två sätt, genom att trycket sänks eller temperaturen höjs eller en kombination av dessa två faktorer. Metangashydrat faller sönder spontant vid rumstemperatur och normalt tryck. Testproduktion har påbörjats. Skulle stora kvantiteter metangas börja frigöras från Sibirien och norra Kanada på grund av ett varmare klimat blir det viktigt att utnyttja så mycket som möjligt av gasen då den är en 30 ggr värre växthusgas än koldioxid. Det är viktigt att påpeka att stor osäkerhet råder om hur stor del av mängderna gashydrat som kan utvinnas kommersiellt. Metanhydrat kan kopplas till instabilitet på havsbotten.

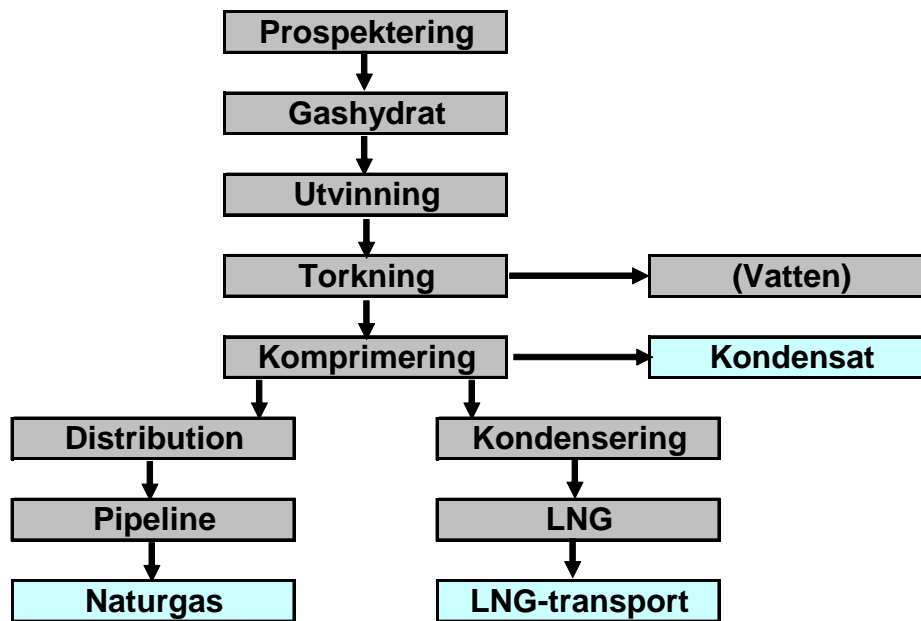
Metangashydrat förekommer inte i Sveriges närhet varför utvinning inte är ett primärt svenskt problem. Sverige kan sannolikt komma att få tillgång till gas av detta ursprung, men då levererat på konventionellt sätt, exempelvis i rörledning och förknippat med för naturgas konventionella olycksrisker.

Den schematiska bilden av produktionen av gas från metanhydrat kommer att likna produktion av naturgas (5.2) även om de tekniska förfarandena kommer att uppvisa avgörande skillnader. Den schematiska bilden (5.29) är ett förslag och rymmer såväl utvinning på havsbotten som från områden med permafrost. När den producerade gasen väl är i en pipeline är egenskaperna hos gasen identiska med naturgasens och samma teknik kan utnyttjas.

---

<sup>2</sup> Den korrekta benämningen är metanklatrat (eng. methane clathrate) där vattnet i frusen form bildar en ”bur” i vilken metan kan stängas inne. 1 liter mättat metanklatrat innehåller 164 liter bunden metangas.





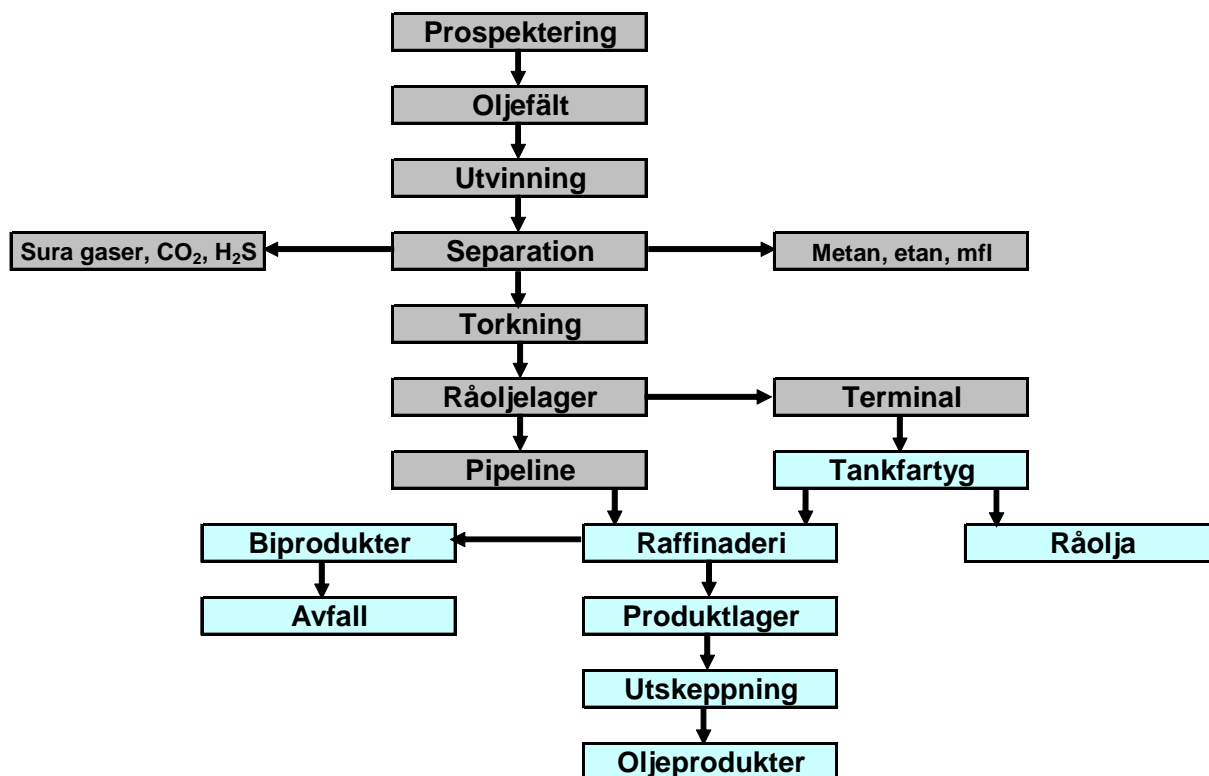
Figur 5.29 Gashydrat

### 5.3 Oljeprodukter

Oljeproduktionen i världen uppgår i dag till cirka 4,6 Gm<sup>3</sup> eller 46 000 TWh. Denna siffra kan jämföras med de bekräftade reserverna som uppgår till cirka 200 Gm<sup>3</sup> (4, 5, 29). Oljeförbrukningen motsvarar i dag 36,4 % av förbrukningen av primära energikällor. Med den nuvarande förbrukningstakten skulle de konventionella reserverna motsvara drygt 40 års förbrukning. Samtidigt pågår en debatt där det hävdas att oljeproduktionen går igenom en topp just nu för att komma att avta i framtiden ("Peak Oil")<sup>3</sup>. Den svenska förbrukningen av oljeprodukter är cirka 20 Mm<sup>3</sup> eller 197 TWh, vilket i dag motsvarar drygt 30 % av den totalt tillförda energin i Sverige vilket kan jämföras med situationen 1970 då oljeprodukter stod för 77 % av den tillförda energin. Oljan kommer inte att ta slut, men den blir dyrare. Ett alternativt sätt att säga att den billiga oljan tar slut varför det kan bli lönsamt att exploatera dyrare alternativ (såsom är fallet med oljesand i Alberta, Kanada).

Inga olycksrisker som hör samman med oljeutvinning har någon relevans för riskbedömningar i Sverige då vi är helt hänvisade till import. Däremot kan olyckor som kan uppstå under sjötransport drabba svenska farvatten och kuster. En ökad transport av rysk olja från Primorsk i Finska viken till bland annat den svenska västkusten sjövägen ökar risken för oljespill i Östersjön. Det finns anledning att anta att användningen av petroleumprodukter kommer att minska på sikt varför risken för petroleumrelaterade olyckor även bör minska.

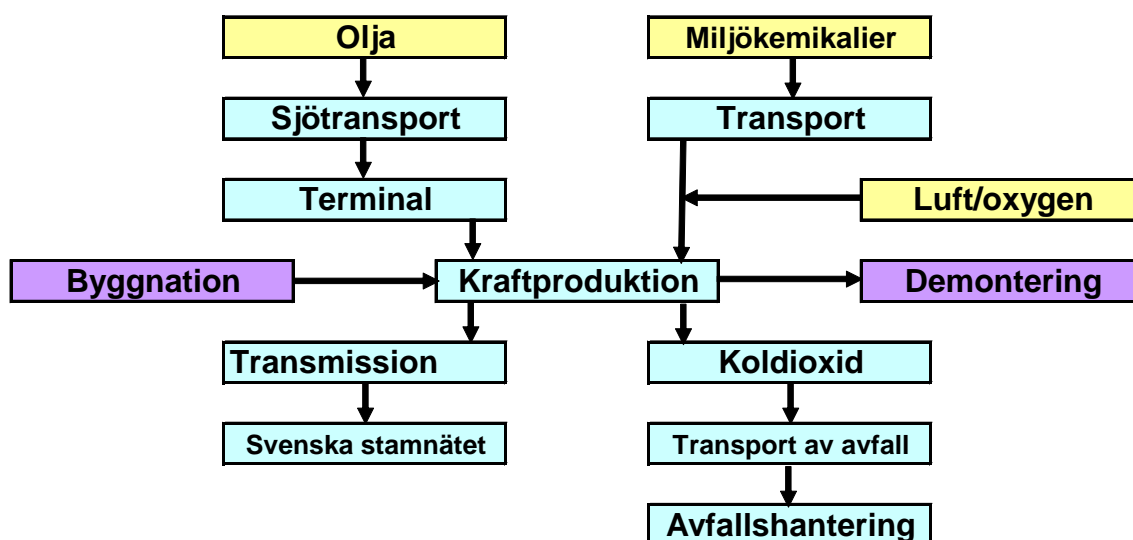
<sup>3</sup> Oljan kommer inte att ta slut, men den blir dyrare. Ett alternativt sätt är att säga att den billiga oljan tar slut varför det kan bli lönsamt att exploatera dyrare alternativ, jfr oljesand i Kanada.



Figur 5.3 Oljeutvinning och förädling

### 5.30 Kondenskraft

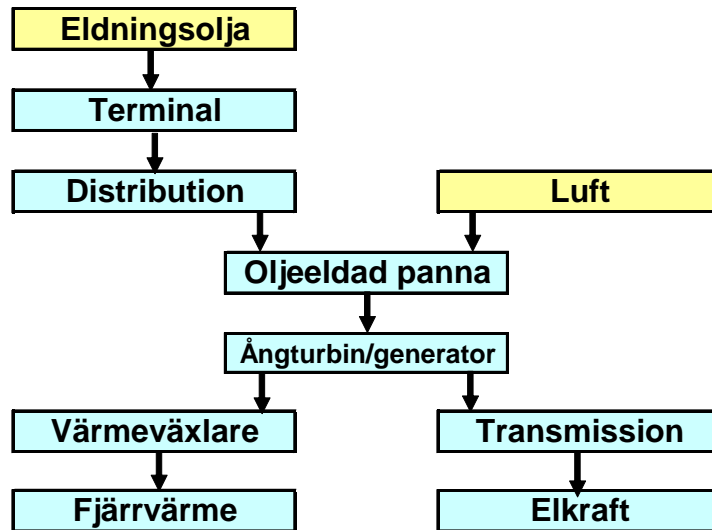
Nedanstående beskrivning avser kondenskraft. Processen har en låg totalverkningsgrad, ca 30-35 %, vilket tillsammans med vårt behov av fjärrvärme gjort att mottryckskraft är en attraktivare teknisk lösning med ett bättre utnyttjande av energin. På grund av klimatproblemet kommer kondenskraft baserad på olja sannolikt endast att användas som reservkraft såvida inte koldioxiden kan tas omhand på ett tillfredsställandesätt.



Figur 5.30 Kondenskraft

### 5.31 Kraftvärme

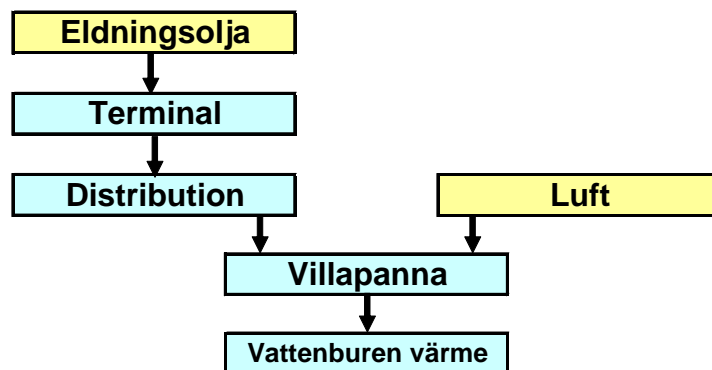
Samtidig produktion av elkraft och fjärrvärme ger en bättre total verkningsgrad. Verkningsgraden kan höjas ytterligare om en kombikraftanläggning utnyttjas där oljan i ett första steg förbränns i en gasturbin varefter de heta avgaserna utnyttjas för ångproduktion med efterföljande kraftproduktion i en ångturbin varefter värme kan distribueras i ett fjärrvärmenät.



Figur 5.31 Kraftvärmeproduktion

### 5.32 Villavärme

Vattenburen villavärme var under lång tid synonymt med oljeeldning. Under en period installerades direktverkande el-patroner som ersättning för oljeberoendet. Senare kom eluppvärmningen att ersättas av exempelvis bergvärmepumpar. Det vattenburna uppvärmningssystemet har erbjudit ägarna en viss flexibilitet. Koldioxidskatten har stegvis gjort oljeeldning mindre attraktivt och i anslutning till revision av pannor och brännare har ovan skissade alternativ introducerats.

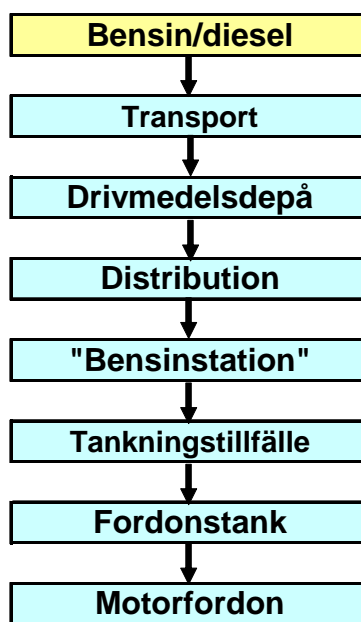


Figur 5.32 Villavärme

### 5.33 Fordonsdrift

Över 95 % av den förbrukade energin inom den svenska transportsektorn utgörs av bensin och diesel. Två tydliga trender kan konstateras, dels sker en rörelse mot allt större andel dieseldrivna personbilar vilket gör att nybilsparken allt mer liknar situationen i övriga Europa. Samtidigt ökar användningen av biodrivmedel, framför allt etanol. Etanolen återfinns som låg inblandning i bensin men också som 85 % -ig beståndsdel i bensinkvalitén E85. Det kommer sannolikt inte att finnas kapacitet att producera etanol från biomassa i den utsträckningen att en betydande del av petroleumanvändningen kan ersättas.

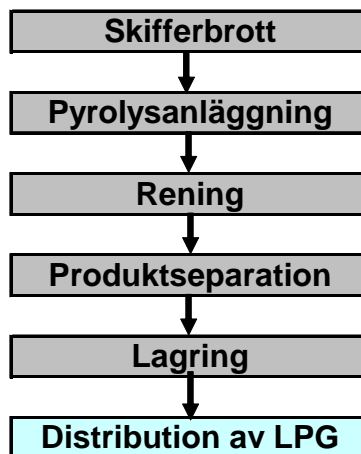
För tyngre fordon används uteslutande dieseldrift. För personbilar kommer andelen med dieseldrift att öka kraftigt för att allt mer likna situationen i övriga EU med 40 % (UK) till 70 % (B, AU) dieseldrift. Samtidigt kommer användningen av biodieselbränslen att öka. Det är knappast ett realistiskt framtidsscenario att anta att biodieselbränslen kommer att dominera inom planeringsperioden. Drivmedelsmarknaden kommer att förändras mot en ökad andel dieselbränslen vilket kommer att kräva utökad produktionskapacitet samtidigt som bensin sannolikt kommer att fortsätta att exporteras till USA tills vidare. Den vikande marknaden för lätt eldningsolja underlättar den ökande efterfrågan på diesel.



Figur 5.33 Fordonsdrift

### 5.34 Oljeskiffer

Alunskiffer har exploaterats i Kvarntorp av Svenska Skifferolja AB under andra världskrigets avspärningssituation. Tekniken som användes var dels brytning och pyrolys (vilket resulterade i den karakteristiska askhögen av restproduktskiffer som rykt fram till i dag) men även in situ uppvärmning på elektrisk väg och pyrolys/avdrivning. Produkten marknadsfördes under namnet Gasol (internationellt benämns liknande produkter Liquefied Petroleum Gas, LPG) och bestod av propan och butan. Det finns för närvarande inga planer på att återuppta produktionen.



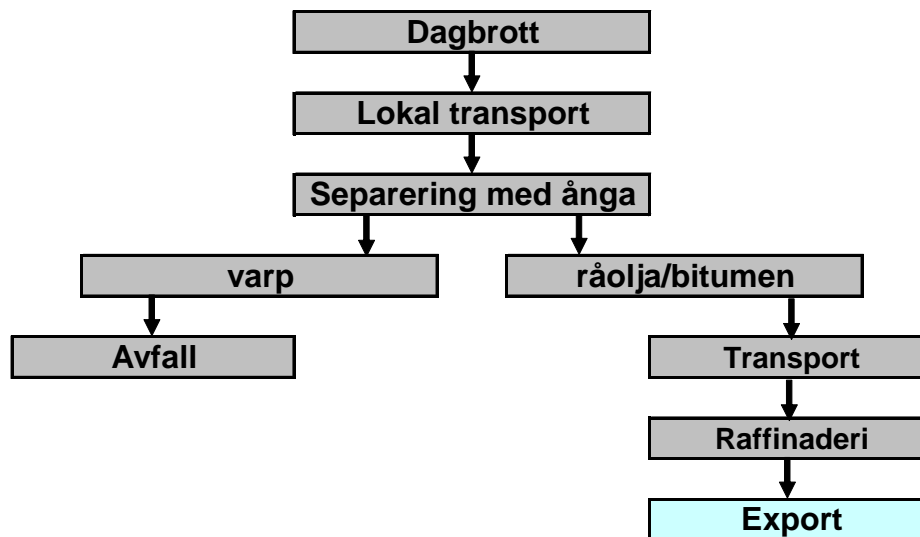
Figur 5.34 Pyrolys av oljeskiffer

I USA finns stora förekomster av oljeskiffer i Colorado, Utah och Wyoming. Mängden utvinnbar olja uppskattas till 140 Gm<sup>3</sup> vilket motsvara cirka 3 ggr oljereserverna i Saudiarabien. Hittills har allt för höga kostnader för att utvinna oljan och miljöproblem stoppat planerna på produktion. Med de nu rådande oljepriserna har den amerikanska regeringen öppnat områden i Colorado för forskning rörande möjlig produktion. Skifferoljebaserade produkter är fossila och därmed är bildad koldioxid att betrakta som en växthusgas.

### 5.35 Tjärsand (oljesand)

Tjärsand utgörs av sand där porutrymmena är fyllda med tunga rester av olja (41). Stora fyndigheter av tjärsand finns vid floden Athabasca i Alberta, Kanada men även i Venezuela och Ryssland. Området där tjärsand förekommer i Alberta är på 141 000 km<sup>2</sup> varav det exploaterbara området utgör 3400 km<sup>2</sup>. De utvinnbara mängderna uppskattas till 28 Gm<sup>3</sup> råolja. Det placerar Kanada näst efter Saudi Arabien vad gäller oljereserver. Mängden tjärsand i Orinoco deltat i Venezuela kan vara mer omfattande än fyndigheterna i Athabasca, men de ligger djupare varför dagbrott är uteslutet. Å andra sidan är de mindre viskösa varför konventionell oljeutvinningsteknik kan användas. De tunga oljeresterna kräver uppvärmning med ånga för att kunna utvinnas. För att producera 1 m<sup>3</sup> olja krävs nära 12 ton tjärsand.

National Energy Board of Canada uppskattar driftskostnaderna till \$ 9 – 14/fat och kapitalkostnaderna till \$ 18 – 22/fat. Tjärsand är likaså en fossilprodukt.

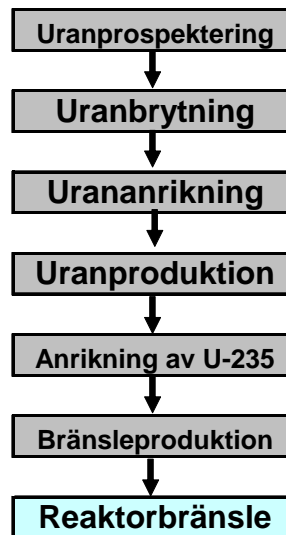


Figur 5.35 Tjärsand

## 5.4 Kärnenergi

Den helt dominerande fredliga användningen av kärnenergi är för storskalig elkraftproduktion (12, 42- 47, 104). Tekniken innebär en konventionell omvandling av värme till elkraft via produktion av ånga varefter energin i högtrycksångan utnyttjas i en ångturbin. I tekniken ligger en inneboende begränsning i att verkningsgraden begränsas till cirka 35 % varför cirka 2/3 av den utvecklade värmen blir spillvärme. Industriellt har kärnenergi i enstaka fall använts för ångproduktion vid sidan av kraftproduktionen. Det är likaså sällsynt med fjärrvärmeproduktion baserad på kärnenergi. Ett undantag är Sveriges första kärnkraftverk, det sedan länge nedlagda, Ågesta kraftvärmeverk som producerade elkraft samt värme för uppvärmning av den närbelägna stadsdelen Farsta. Anläggningen som startades 1963 kan med sin begränsade effekt (68 MW fjärrvärme och 12 MW elkraft) betraktas som en försöksanläggning. Ågestaverket som lades ned 1974 är ett exempel på det svenska försöket att utnyttja naturligt uran med utnyttjande av tungt vatten som såväl moderator och primärt kylmedel. En fördel med att utnyttja naturligt uran var att man blev oberoende av isotopanrikning.

De förhärskande kärnenergianläggningarna typ I – III utnyttjar endast isotopen 235 för att åstadkomma kärnreaktionen. Den isotopen utgör endast 0,7 % av det naturligt förekommande uranet. I en IV:e generationens reaktor, en s.k. Breeder reaktor, utnyttjas ett mer höganriktat bränsle varvid energiomvandlingen av uranet avsevärt längre och reaktorn skapar i praktiken sitt eget bränsle. Utnyttjandet av bränslet kan drivas betydligt längre om uppärbetning av det utbrända bränslet tillåts. Av rädsla för spridning av klyvbart plutonium vilket bildas i bränslet under drift så har uppärbetningen av utbränt material begränsats. I en breederreaktor drivs omvandlingen längre och genom s.k. transmutation reduceras mängden långlivade isotoper i restprodukten vilket är en fördel vid deponering av restprodukterna.



Figur 5.4 Reaktorbränsle

## 5.40 Kärnkraft

De 10 svenska kärnkraftverkens produktion har efter uppgraderingar en sammanlagd effekt på cirka 10 000 MW. 2005 motsvarade kärnkraftverkens produktion nära 50 % av den svenska elproduktionen eller 33 % av den totala energiförsörjningen om förlusterna räknas in.

Ökad elanvändning utgör ett viktigt bidrag i begränsningen av utsläppen av växthusgaser. Det förutsätter dock att elkraften kan genereras utan betydande koldioxidutsläpp. Här kommer kärnkraften in som ett möjligt storskaligt alternativ.

För närvarande drivs 441 kärnkraftreaktorer i 31 länder. De har en sammanlagd kraftproduktion om 363 GW. 30 reaktorer är under byggnad och 24 länder, varav 6 inte har några reaktorer tidigare, planerar för byggande av ytterligare 104 reaktorer. Bland de länder som har omfattande planer på utbyggnad av kärnkraft kan nämnas Ryssland, Kina, Indien, Japan Sydkorea och Taiwan (17 reaktorer under byggnad och 70 på planeringsstadiet).

US Department of Energy, Office of Nuclear Energy, Science and Technology uppskattar det tillkommande kraftbehovet till 335 GW fram till 2025, eller 50 till 60 nya kraftverk per år de kommande årtiondena!

Hittills har reaktorerna använts för produktion av elkraft, men reaktorer kan även användas för produktion av hydrogen, avsaltning av havsvatten och fjärrvärme.

Finland har blivit en pionjär inom kärnkraftområdet i och med att man beslutat att bygga världens största reaktor, Olkiluoto 3 på 1 600MW. Sedan detta beslut fattades har planer på ytterligare 3 nya reaktorer beaktats i Finland, senast av E.ON som har förvärvat mark i Loviisa för en kärnkraftanläggning. Fortum har påbörjat en miljökonsekvensbeskrivning, MKB, för en anläggning

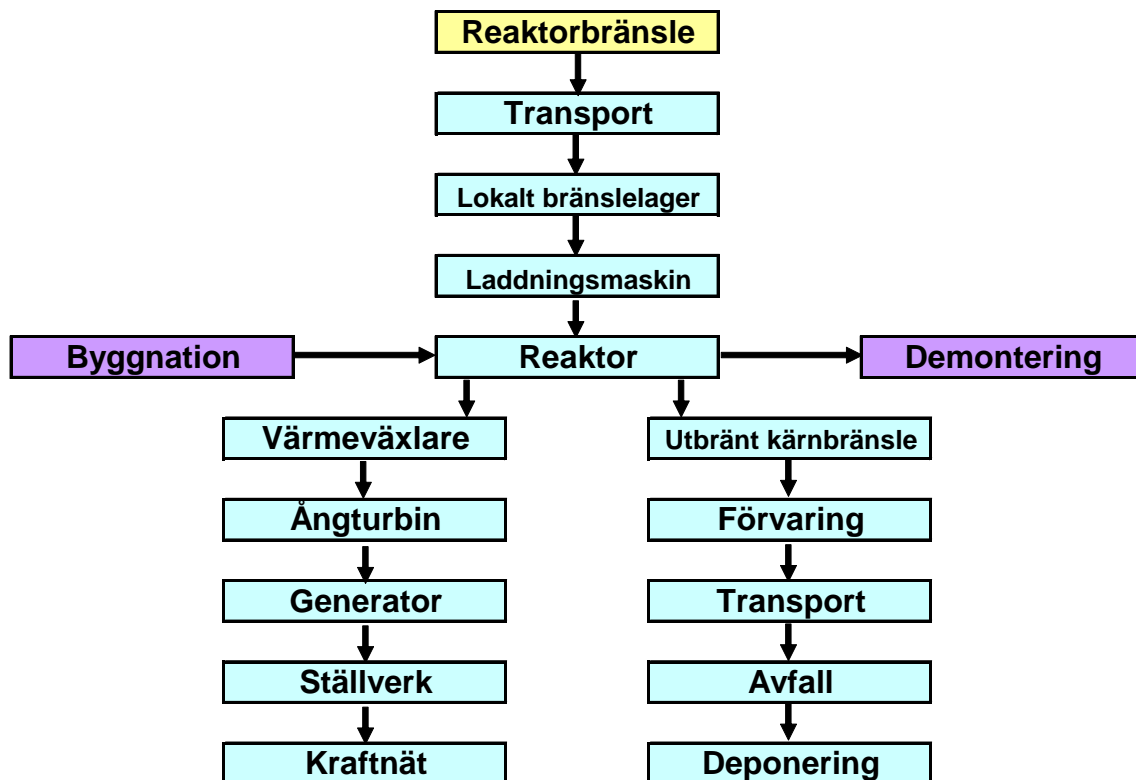
vid sin tidigare anläggning i Loviisa och Teollisuuden Voima har påbörjat en MKB för en möjlig 4:e reaktor i Olkiluoto.

De nya reaktorerna är av typen III:e generationens trycksatta kokarreaktorer vilka är större än tidigare byggda reaktorer. De kännetecknas av utökade säkerhetssystem och förbättrad lönsamhet. De nya reaktorerna kommer att ha flera barriärer för att förhindra spridning av radioaktivitet till omgivningen. Som exempel kan nämna att de nya reaktorerna ska ha skal som tål att träffas av ett trafikflygplan. De skall vidare ha en inneboende reaktorsäkerhet och säkerhet så att bildat restvärme, efter att kärnreaktionen stoppats, kan ledas bort på ett kontrollerat sätt.

Förutom vidareutveckling av fissionsbaserade kärnkraftverk så drivs utvecklingsarbetet med fusionsprocessen vidare. I Caradache i Sydfrankrike avser ett internationellt konsortium bygga ett fusionskraftverksprototyp ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor, 47). ITER kommer att bli den första fusionsreaktorn med nettoproduktion av kraft (500 MW). Deltagande parter är EU, Ryssland, Kina, Japan, Indien, Sydkorea och USA. Byggandet påbörjas 2008 och anläggningen skall stå färdig 2016 för att därefter drivas under en beräknad period på 21 år. Man planerar att under en tioårsperiod finna ut de optimala betingelserna för en kraftproducerande reaktor. Därefter avser man att under 10 år söka driftserfarenheter för fortsatt exploatering av fusionskraft.

Även om ITER blir en fullständig framgång så kommer sannolikt inte resultaten att föreligga i tid för att kunna påverka energisystemet 2050 (ITER:s byggfas 2008-2016, 1 års drifttagande, under 2017, utprovning av optimala driftsbetingelser 2017- 2027, Insamling av driftserfarenheter 2027-2037). För en anläggning baserad på erfarenheter från ITER kommer planering och byggande sannolikt att kräva bortåt 15 år.

En genomgång av databasen ENSAD (Energy-related Severe Accident Database) visar att inom OECD-länderna har det inte inträffat någon olycka med 5 eller fler dödsoffer vilket placerar kärnkraft som den säkraste energikällan även före vattenkraft inom OECD



Figur 5.40 Kärnkraft

Alla storskaliga industriella verksamheter är förknippade med risk för olyckor. I fallet kärnkraft så är det framför allt risker för olyckor vid drift av reaktorerna samt den extremt långa förvaringen av det radioaktiva avfallet. I båda fallen handlar det om risken för strålningsskador.

## 5.5 Biomassor

Intresset för biomassor som energikällor har flera orsaker, till exempel (6, 15, 48-50, 55, 103, 105, 107):

Biomassor är förnybara och bidrar därmed inte till förbrukning av ändliga resurser. Biomassor ger inte upphov till utsläpp av fossil koldioxid och därmed inga bidrag till växthuseffekten.

Strategiskt oberoende om vi kan producera biomassa inom landets gränser.

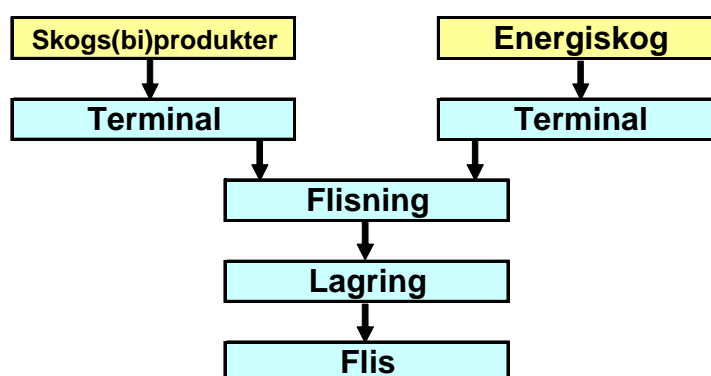
Biomassor kan produceras inom alternativ jord- och skogsbruksproduktion.

Biomassorna kan utnyttjas direkt för energiändamål eller efter vidareförädling till mer hanterbara energibärare. Nedan ges två exempel på vidareförädlade produkter, energibärare.

Tabell 10. Kvalitativ jämförelse av teknologier för att produktion av elkraft, värme och/eller kraft från biomassa

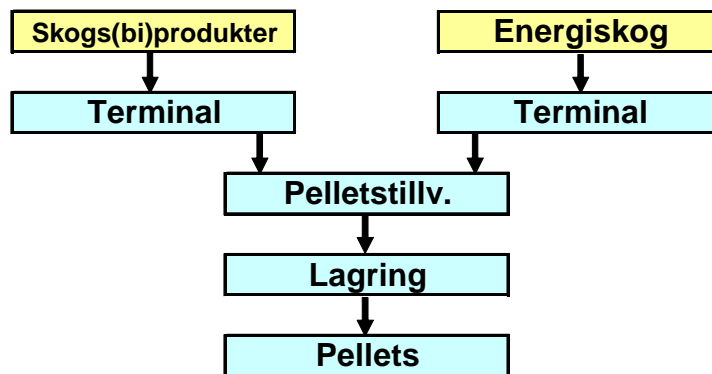
Teknik	Teknisk utveckling	Ekonomi	Miljö	Marknads-potential	Används i dag
Förbränning - Värme	+++	#	+++	+++	+++
Förbränning - Kraft	++(+)	##	++(+)	+++	++
Förgasning	+(+)	###	+(++)	+++	
Pyrolys	(+)	####	(+++)	++(+)	

Ur olycksrisksynpunkt kommer sannolikt transportolyckor relaterade till biomassor att visa sig i statistiken. Olyckstyperna kommer inte att avvika från vad som är känt rörande transporter av skogs- och jordbruksprodukter.

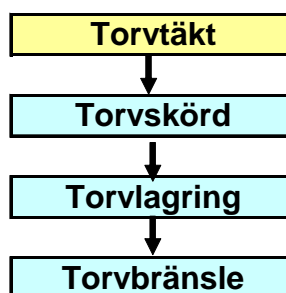


Figur 5.5 Biomassor – 1 Flis





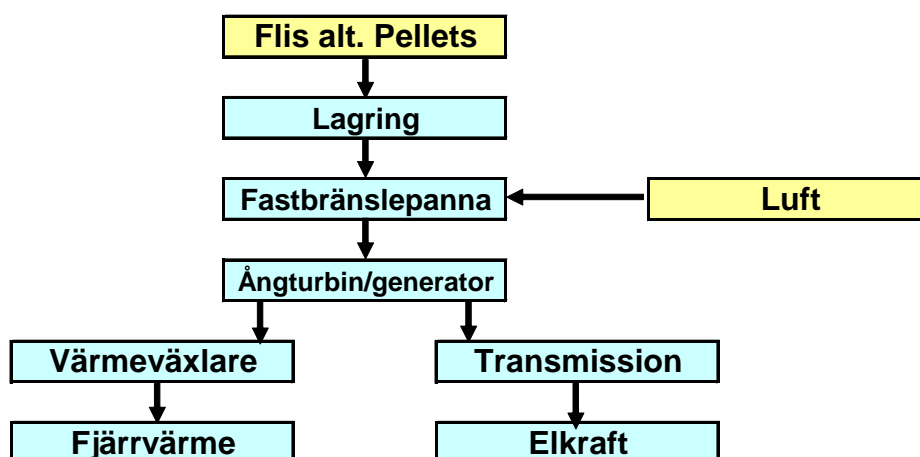
Figur 5.5 Biomassor – 2 Pellets



Figur 5.5 Biomassor – 3 Torvbränsle

### 5.50 Biobränslen för kraftvärme

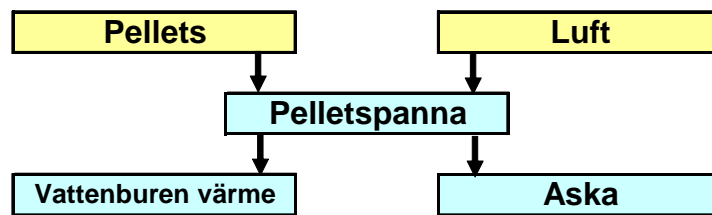
Avverkningsavfall från skogsbruket, såg- och skogsindustriprodukter kan brännas för värme och/eller kraftproduktion i grovfördelat form eller som flis eller pellets (16, 103). Kombinationen Kraft- och värmeproduktion ger en hög total utnyttjandegrad. Utförandena kan naturligtvis variera betydligt men nedanstående schematiska bild får representera kraftvärmeproduktionen. Transportrelaterade olyckor kommer sannolikt att utgöra ett inslag i olycksbilden för biobränslen för kraftvärme med flera användningsområden.



Figur 5.50 Kraftvärmeproduktion från biobränsle

### 5.51 Villavärme

En betydande andel av villavärmen är redan konverterad till pellets från ved eller olja i det senare fallet då man haft tillgång till en kombinationspanna (16). Pellets ger en möjlighet till automatiserad uppvärmning liknande oljeeldning.

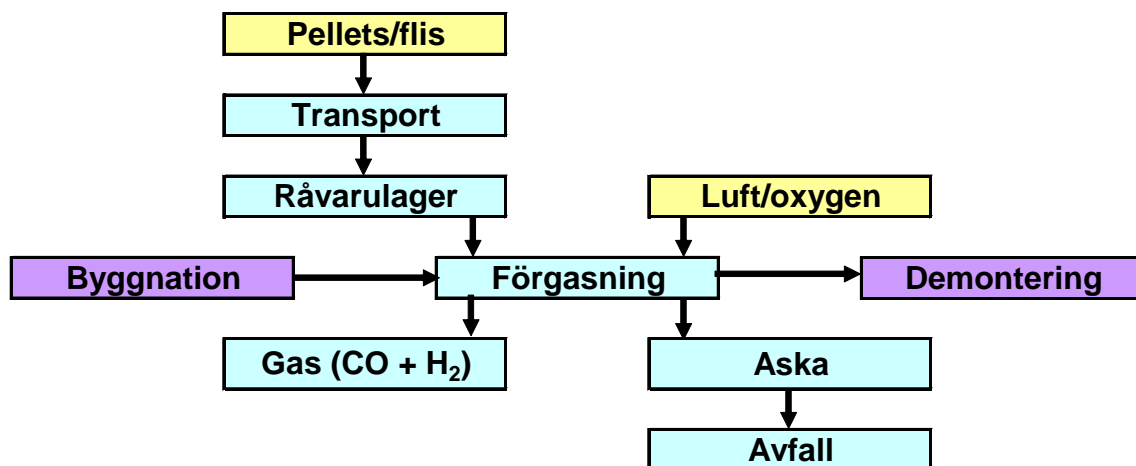


Figur 5.51 Villavärme

Alternativet vedeldning är intressant för dem som har tillgång till billig ved och där energikostnaden får ställas mot bekvämlighetsaspekter. Ingen markant ny risk är att vänta vid en övergång från olja till pellets, snarare en minskad risk för allvarliga olyckor som involverar tankbilar med åtföljande risk för förorenad miljö.

### 5.52 Biobränsleförgasning

Förgasning av biobränslen föreslås som ett sätt att få en hög energieffektivitet, men är samtidigt en betydligt mer krävande teknisk lösning på grund av tjärbildning och aska (12). Attraktiviteten ligger i ett utnyttjande av ett inhemskt bränsle utan fossilbränslets koldioxid problematik. Ökad användning av biobränslen kommer att öka transportarbetet med lastbil.

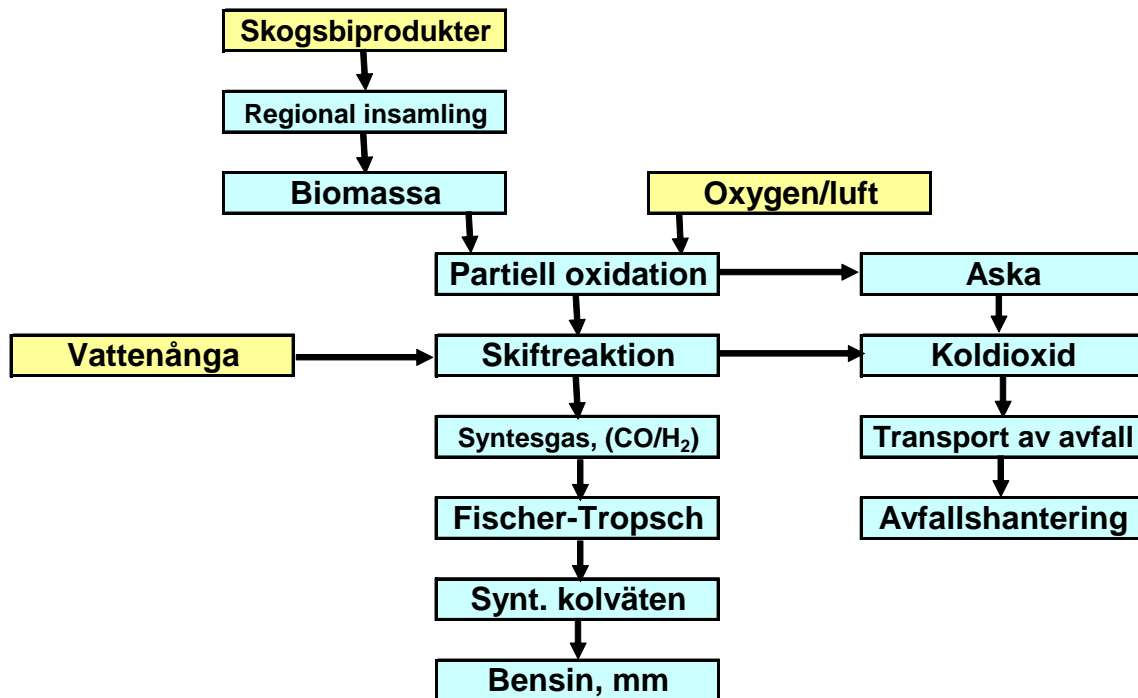


Figur 5.52 Biobränsleförgasning

### 5.53 Biobränsle till vätska, BTL

På samma sätt som beskrivits tidigare kan en syntesgas bestående av koloxid och hydrogen katalytiskt omvandlas till flytande kolväten genom Fischer-Tropsch processen (55). Ett alternativ är att utifrån syntesgas tillverka metanol och att utnyttja den för syntes av estrar ämnade som dieselbränsle (eller produktion av dimetyleter). Att starta processen utifrån biobränslen måste anses betydligt mer komplicerat är att utgå ifrån naturgas. Storskaligheten gör att anläggningen bäst kan liknas vid en stor massafabrik med ett logistiksystem som hanterar storleksordningen 1 Mt bioråvaror. Det förefaller inte lämpligt att ha som mål att utnyttja metanol eller dimetyleter som bränslen även om det teknisk är fullt möjligt. Det blir som nämnts tidigare ekonomiskt och logistiskt ohanterligt med ett allt för omfattande

utbud av bränslen (med undantag för den situation då bränslena är fullständigt kompatibla med andra bränslen/bränsleblandningar).



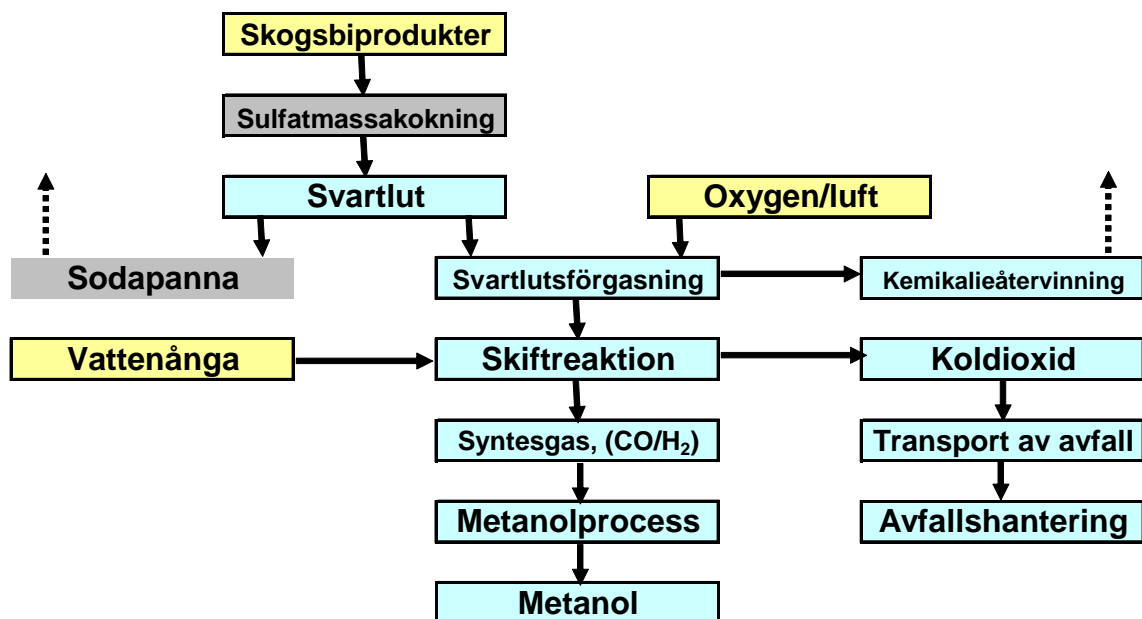
Figur 5.53 Biobränsle till vätska, BTL

## 5.54 Svartlutsförgasning

Förbränning av svartlut i sodapannan inom sulfatmassaindustrin har två syften (51-53). Dels är det nödvändigt att återvinna de oorganiska kokkemikalierna samtidigt som förbränning av de utlösta vedämnena (i huvudsak lignin) förser anläggningen med ånga. Förbränningen sker så att betingelserna i pannans nedre del är reducerande för att svavelbasen skall kunna återvinnas. Sodapannan är en av anläggningens kostsammaste investeringar och är i allmänhet dimensionerande för produktionen.

Svartlutsförgasning innebär en alternativ metod att återvinna kokkemikalierna samtidigt som en syntesgas produceras. En viktig aspekt rörande möjligheterna att framgångsrikt introducera svartlutsförgasning har att göra med driftsäkerhet och enkelhet att hantera processen då man inte vill riskera massaproduktionen. Investeringens storlek relativt en investering i en sodapanna kommer även att ha en avgörande betydelse för hur skogsindustrin skall se på diversifieringen mot alternativa bränslen. Om man producerar bränslen genom svartlutsförgasning så kommer man att behöva utnyttja skogsbiprodukter för ångproduktion i exempelvis en barkpanna. Svartlutsförgasning är fortfarande på utvecklingsstadiet.

Svartlutsförgasning innebär introduktion av en ny teknik inom skogsindustrin med de nya risker det innebär. Samtidigt kan konstateras att sodapannor på intet sätt är riskfria. Då det till exempel inträffar brott på ångrör och andra olyckor.

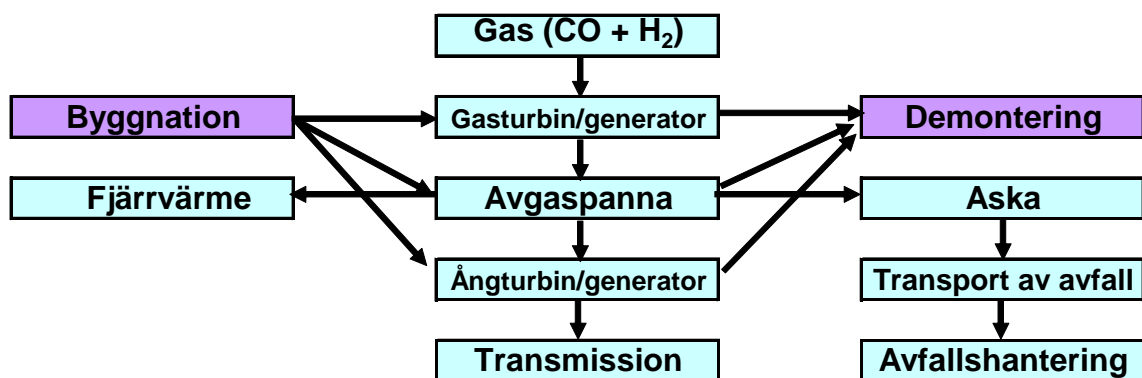


Figur 5.54 Svartlutsförgasning och metanolproduktion

### 5.55 Bibränsleförgasning, kombikraftvärme

Som tidigare nämnts för så kan en samtidig kraft och värmeproduktion med en kombination av gasturbin och ångturbin ge en högre total verkningsgrad (15).

Förgasning av bibränslet innebär en ökad teknisk komplexitet vilket sannolikt innebär en ökad risk. Det är dock inte ett oöverstigligt problem då vi har att göra med ett tekniskt avancerat företag.



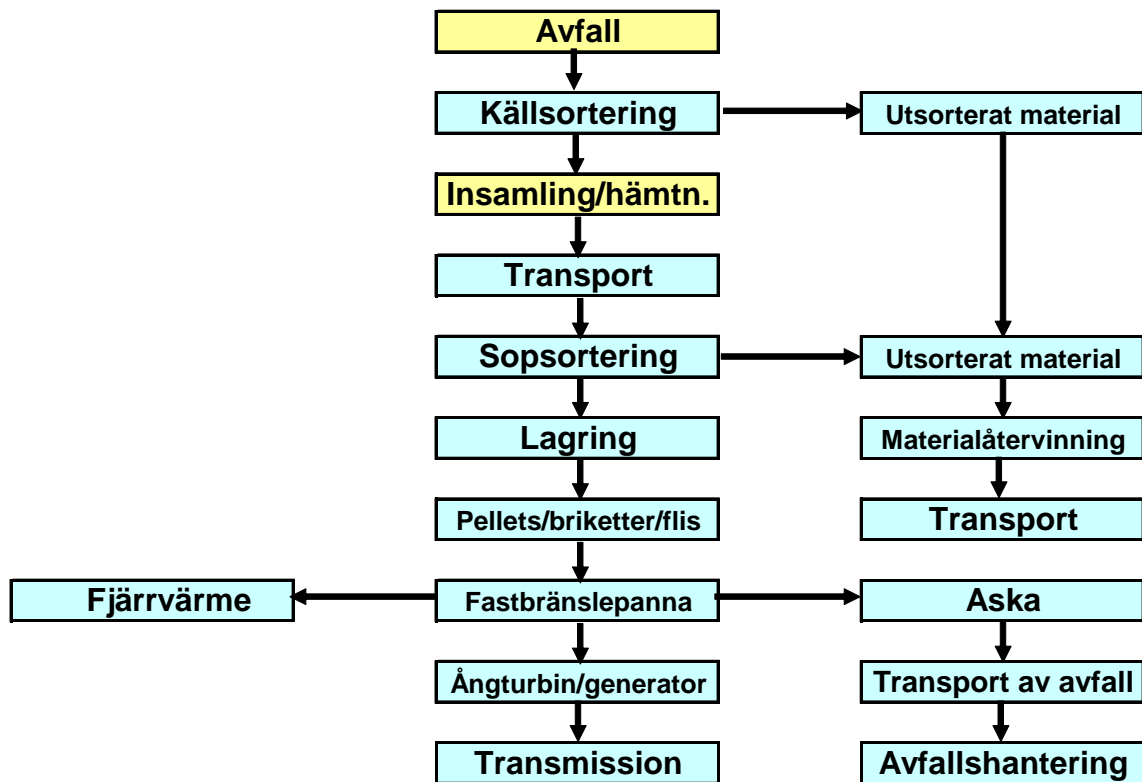
Figur 5.55 Bibränsleförgasning, kombikraftvärme

### 5.56 Avfallsbränslen

Förbränning med energiåtervinning kan många gånger erbjuda ett attraktivt sätt att ta omhand avfall av olika ursprung (12). Beroende på avfallens ursprung och anläggningens robusthet kan olika avancerade förbehandlingsmetoder bli aktuella. Ofta krävs viss separation av icke brännbara delar i avfallet eller materialåtervinning kan ingå som ett försteg till omhändertagandet.

Så länge det finns avsättning för värme är avfallsförbränning ofta den metod som är ekonomiskt att föredra. Manuella rutiner i avfallsseparering och materialåtervinning utgör inte sällan betydande risker ur arbetsmiljö synpunkt.

Figur 5.56 visar en schematisk beskrivning av en anläggning för omhändertagande och utnyttjande av hushållsavfall och verksamhetsavfall.



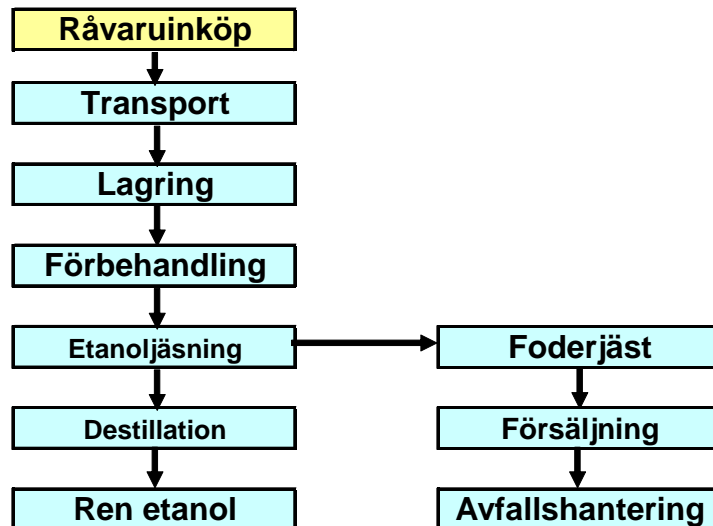
Figur 5.56 Avfallsbränslen

### 5.57 Avancerade biobränslen, etanol

Storskalig produktion av teknisk etanol från olika kolhydratrika produkter har fått ökad betydelse i och med att utsläppen av fossil koldioxid skall begränsas samtidigt som det finns ett behov av att finna avsättning för överskott från jordbrukssektorn inom flera marknader (15, 54-65, 121).

I första hand har produktionen baserats på det lokala överskottet av kolhydrat, exempelvis vetestärkelse i Sverige, majsstärkelse i USA, sockerrör i Brasilien. Andra kolhydratrika råvaror kan vara betor och potatis. I viss mån kan avsättningen för produkterna avgöra vilken råvara som kan komma ifråga. Andra möjliga råvaror i en framtid är halm, trä eller andra växtfibrer liksom skogsavfall i den mån det inte är in-tecknat för andra energiändamål.

Sprittillverkning genom jäsningsprocessen förekommer sedan länge inom landet varför de risker som är förknippade med jäsningsprocessen, destillation och hantering av alkohol är bekanta.



Figur 5.57 Avancerade biobränslen, etanol

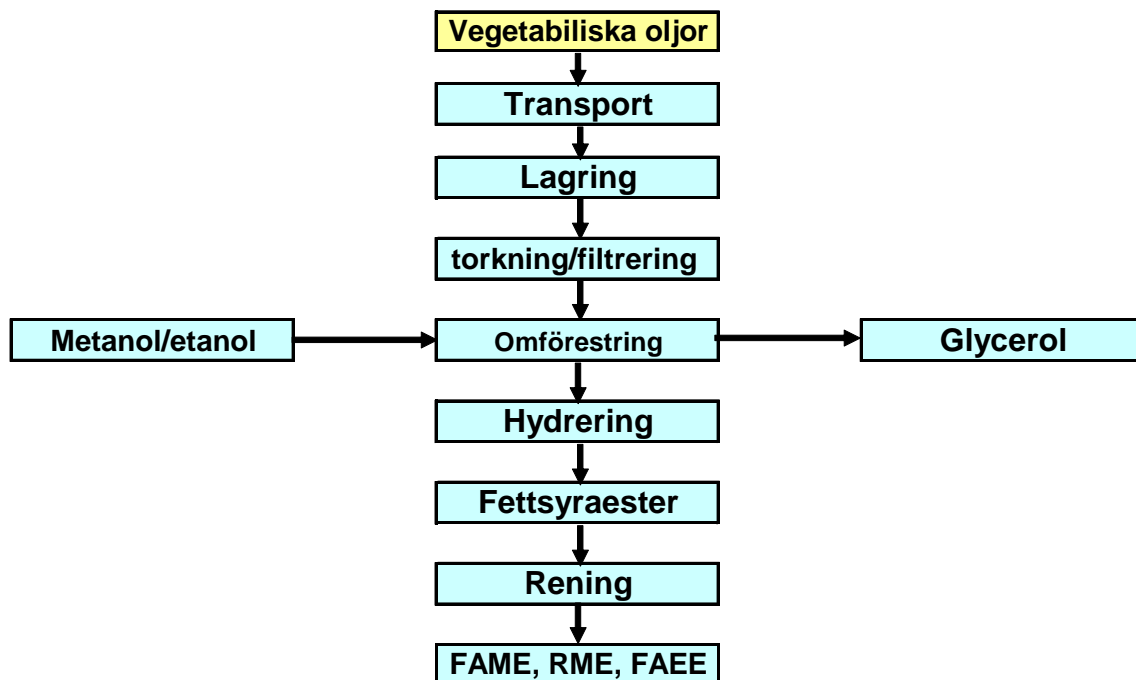
Efterfrågan på bioetanol har drivit upp priset på majs från cirka 2.40 USD/bushel till 4.00 i takt med att etanolproduktionen svarar för 20 % av avsättningen för majs. Drivmedelssektorn kan avsätta en betydande del av jordbruksproduktionen vilket kommer att få konsekvenser för jordbruksöverskotten och på sikt även livsmedelsförsörjningen. Energieffektiviteten har tidigare ifrågasatts då etanol produceras från stärkelse från olika grödor. Under gynnsamma betingelser och med utnyttjande av modern teknik förefaller utfallet vara acceptabelt. Storstockholms Lokaltrafik (SL) hade vid utgången av 2006 350 bussar (25 %) avsedda för drift med biobränslen i huvudsak bioetanol.

### 5.58 Avancerade biobränslen, biodiesel

Omförestring av framför allt vegetabiliska oljor med metanol eller etanol ger fettsyrametyl- eller etylestrar vilka kan användas som dieselbränsle (15, 54-59, 66-68). De oljor som är aktuella är palmolja, rapsolja, solrosolja, majsolja sojaolja med flera. Vid omförestringen bildas glycerol som biprodukt. Vissa oljor kan behöva hydrering för att inte luftoxideras. Ett förslag att tillverka en biodiesel utifrån tallolja har presenterats. Än en gång så rör det sig om en biprodukt som redan har en avsättning men som möjligen kan erövra en liten del av en ny marknad. Mängden tallolja är beroende av produktionen av sulfatmassa. Talloljans fettsyrastrar kommer att behöva hydreras för att eliminera deras lufttorkande egenskaper.

En förutsättning för att fettsyrastrar skall erövra dieselmarknaden är att produktkvalitéerna motsvarar uppställda krav och att produkterna är inbördes kompatibla.

Oljeutbytet per hektar är normalt cirka 2 ton med ett undantag för palmolja från oljepalmen *Elaeis guineensis* där avkastningen är hela 4 ggr så hög per hektar. En konsekvens av detta är att odlingen av oljepalm kommer att öka kraftigt i tropiska regioner vilket i sin tur kommer att öka trycket på kvarvarande regnskogar. Priset på vegetabiliska (mat-)fetter kommer att gå upp som resultat av ökad efterfrågan. Det faktum att Nestes biodieselbränsle baseras på palmolja innebär ett problem då palmolja i dag är en minst sagt kontroversiell råvara på grund av avverkning av regnskogar och utdikning av torvmarker.



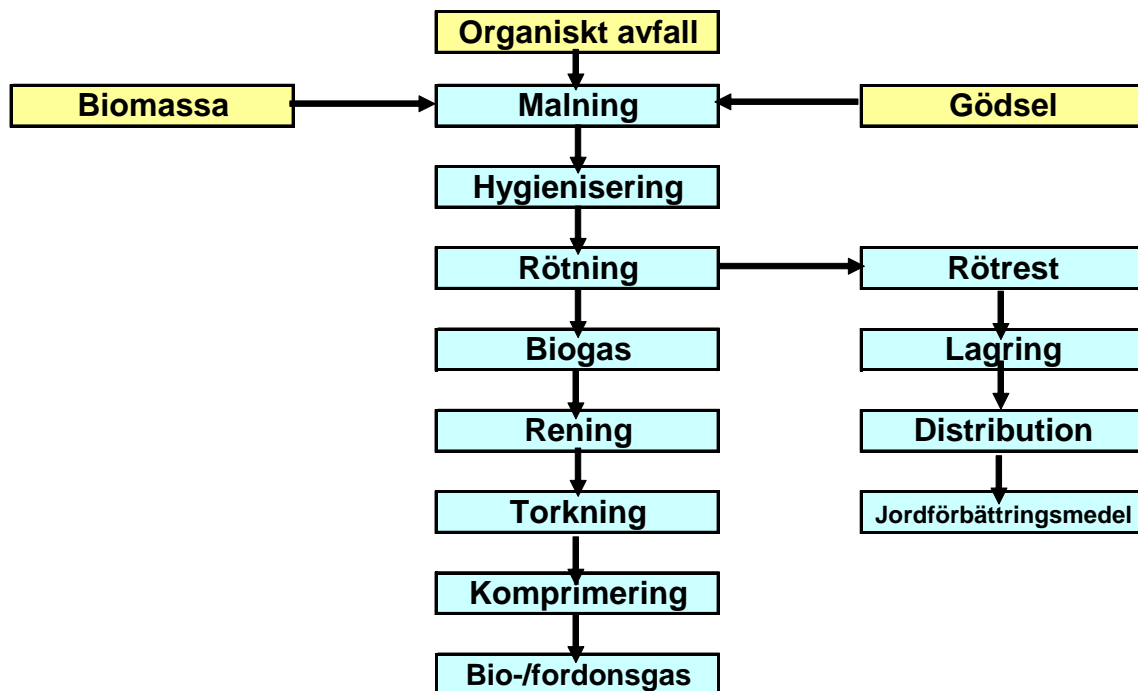
Figur 5.58 Avancerade biobränslen, biodiesel

Hantering av biologiska råvaror för produktion av vegetabiliska fetter för humankonsumtion är välbekant liksom tekniken för hydrering av fetterna för att göra dessa värmestabilare och för att de inte skall reagera så lätt med luftens oxygen.

### 5.59 Biogas

Lätt nedbrytbart organiskt avfall (som matavfall), Slam från avloppsreneringsverk och gödsel men även grönmassa kan användas för rötning och produktion av metangas (123-125). Stora mängder slam rötas i svenska avloppsreneringsverk varvid metangas bildas. En anaerob jäsning sker även i deponier för hushållsavfall några år efter att deponin täckts och det initialt närvarande syret förbrukats. Även här bildas metangas som kan användas för uppvärmningsändamål, eller efter rening från koldioxid, torkning och komprimering som fordonsgas. Tekniken för produktion av biogas är känd och etablerad i de flesta kommuner varför det inte finns anledning att tro att en ytterligare ökad användning skall visa sig innebära en introduktion av nya olycksrisker.

SL har i dag 51 bussar som drivs på biogas. Gasdriften fungerar utmärkt och begränsas endast av tillgången på biogas. Man har i dag endast ett ställe på Söder i Stockholm där man kan tanka bussarna. Gasen levereras i rör från Henriksdals reningsverk. SL:s mål är att 50 % av bussarna skall vara avsedda för biobränslen senast 2012.



Figur 5.59 Biogas

## 5.6 Vattenkraft

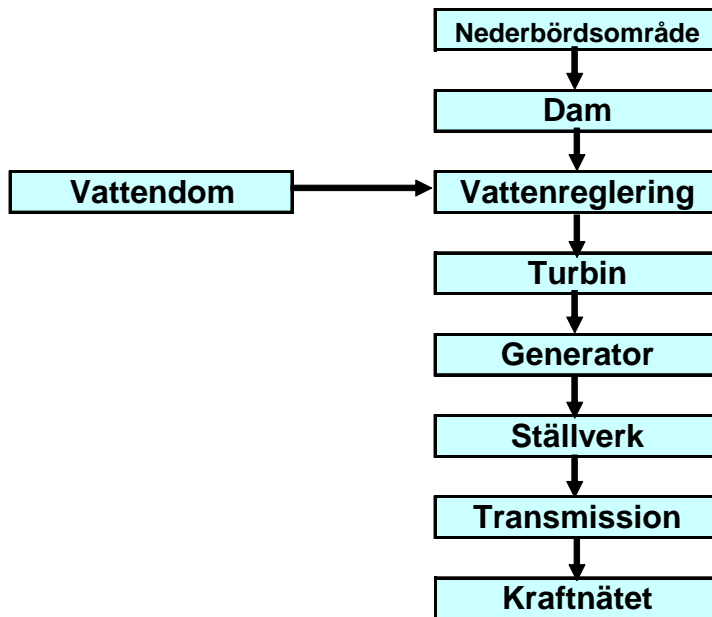
Vattenkraften i svenska älvar är i huvudsak utbyggd med undantag av några älvar som bevarats outbyggda av miljöskäl. Vissa mindre vattendrag kan möjligen byggas ut, men annars finns endast effekthöjningar som kan genomföras i vissa befintliga kraftverk (55). En vattenkraftsutbyggnad kräver fallrättighet såväl som vattendom som bland annat reglerar hur vattenföringen får påverkas.

### 5.60 Vattenkraftproduktion

Vattenkraftproduktionen i Sverige (ifrån cirka 1200 kraftverk, de flesta små på några 10-tal till 100-tal kW, den sammanlagda kapaciteten är på cirka 16 100 MW) utgör 74 TWh vilket motsvarar cirka 50 % av den producerade elenergin som i sin tur utgör 32 % av Sveriges primära utnyttjningsbara kraftproduktion.

En riskfaktor som måste beaktas är att många dammar behöver en återkommande översyn för att upprätthålla dammsäkerheten på en betryggande nivå (67).

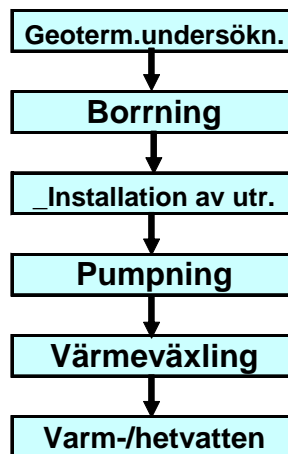




Figur 5.60 Vattenkraftproduktion

### 5.61 Geotermisk värme

Förutsättningarna för geotermisk energiutvinning är inte de bästa i Sverige(55). Geotermisk värme med lågt exergiinnehåll måste i allmänhet kombineras med värmepump för att vara av intresse att exploatera. Den geotermiska potentialen i Sverige är begränsad och kan sannolikt endast utnyttjas för uppvärmningsändamål och i kombination med värmepumpar. Lund Energi utnyttjar geotermisk värme för sitt fjärrvärmesystem. Att utnyttja geotermisk energi i Sverige innebär knappast vare sig några väsentliga eller nya risker.

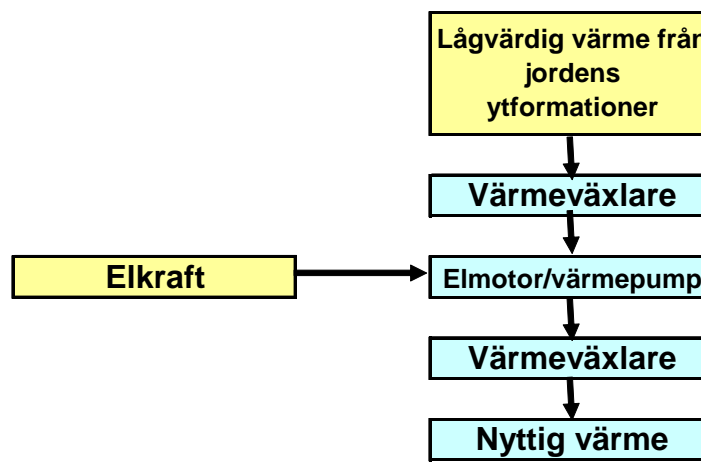


Figur 5.61 Geotermisk värme

## 5.62 Berg-, jord-, sjö- och luftvärmepumpar

Två typer av värmepumpar utnyttjas i huvudsak. Villor med direktverkande el kan utnyttja luftvärmepumpar för att sänka de direkta uppvärmningskostnaderna. I marknadsförings-sammanhang nämns ofta en värmefaktor på upp till 4,3 (för 1 kWh elenergi avges 4,3 kWh värme). En luftvärmepump fungerar mindre bra vid låga utomhustemperaturer, men fungerar tillfredställande under vår och höst. Vissa installationer kan utnyttjas för att leverera kyla under varma perioder.

Bergvärmepumpar (jord- eller sjövärmepumpar) används i allmänhet för att leverera värme till ett vattenburet värmesystem som tidigare i allmänhet varit koppla till en oljeeldad villapanna) I allmänhet kan en värmepump i dag leverera upp till drygt 4,3 ggr den installerade effekten till värmesystemet. (för varje förbrukad kWh el levereras upp till drygt 4,3 kWh värme till värmesystemet. Moderna värmepumpar, stora som små, är synnerligen driftsäkra och representerar inga nya olycksrisker. I takt med att värmemediet miljöanpassats så har konsekvenserna av ett läckage begränsats betydligt.



Figur 5.62 Värmepumpar

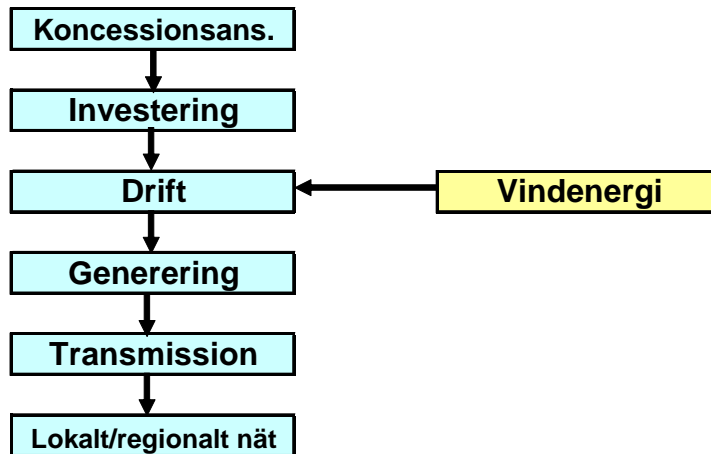
Storskaliga värmepumpar kan även utnyttjas i fjärrvärme- och fjärrkylsystem. Värmepumpen kompletteras då med en panna för att få tillräckligt hög temperatur på det utgående hetvattnet.

## 5.7 Vindenergi

Svensk vindenergi kan framför allt nyttiggöras utmed kusten eller ute till havs (12, 55, 70). Investeringarna har oftast rönt lokalt motstånd och förutsätter ett långsiktigt stöd för att förverkligas.

### 5.70 Vindkraft

Den svenska vindkraftproduktionen uppgick 2005 till cirka 1TWh av en sammanlagd elkraftproduktion på 140 TWh. Ett planeringsmål för vindkraftproduktionen år 2010 är satt till 10 TWh per år. En viktig förutsättning för att nå detta mål är att stödet förblir oförändrat (eller förbättras) och att tillståndsförfarandet underlättas så att projekten går att realisera snabbare. Inga allvarliga haverier med vindkraftverk har rapporterats.



Figur 5.70 Vindkraft

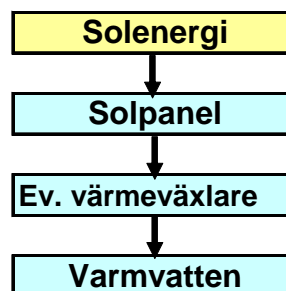
Vindkraftverken måste fjärrstyras och förses med nödsystem som kan förhindra att vindkraftverken löper amok eller övervarvas under situationer med för kraftig vind. Hänsyn måste tas till de eventuellt känsliga förhållanden som framkommit i miljökonsekvensbeskrivningen, (MKB:n). En viktig aspekt som blir aktuell den dag den installerade effekten blivit stor är hur reservkraft skall kunna påräknas i de lägen det endera blåser för lite eller för mycket. Denna aspekt är av underordnad betydelse i dag när den installerade vindkrafteffekten är så låg.

## 5.8 Solvärme och solkraft

Passiva solvärmepaneler kan användas för att som komplement till annan uppvärmning leverera varmvatten under de varmare delarna av året. Solkraftproduktion är knappast aktuellt för svenska förhållanden (71-73).

### 5.80 Solvärmeproduktion

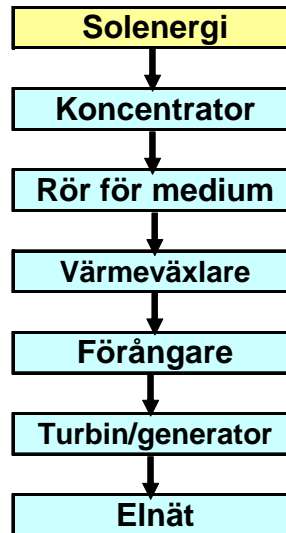
Småskaliga solvärmeinstallationer utnyttjar paneler i olika utföranden monterade på väggar eller tak för att värma ett medium som i sin tur kan värma vatten för användning som varmvatten eller för att cirkuleras i ett vattenburet värmesystem (55).



Figur 5.80 Solvärme

### 5.81 Solkraft med "tråg"-koncentratorer

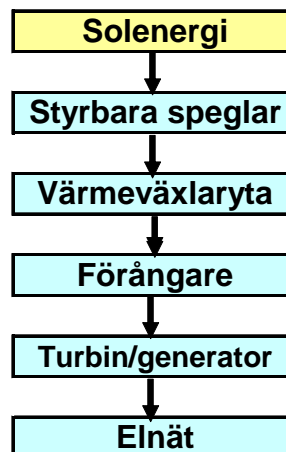
För kraftproduktion krävs att värme från en betydande yta utnyttjas för att möjliggöra önskat effektuttag. Det enklaste sättet att ordna detta är att fokusera solljuset på ett rör med ett lämpligt värmemedium. Det kan ske genom att långsträckta halvcyindriska speglar fokuserar solljuset på ett svart rör genom vilket värmemediet pumpas. På detta sätt kan upp till 1000 W/m<sup>2</sup> nyttiggöras. Denna typ av installation förekommer knappast på våra breddgrader utan är mer lämpade för Sydeuropa, Kalifornien eller Arizona.



Figur 5.81 Solkraft med koncentrator

### 5.82 Solkraft med Heliostater

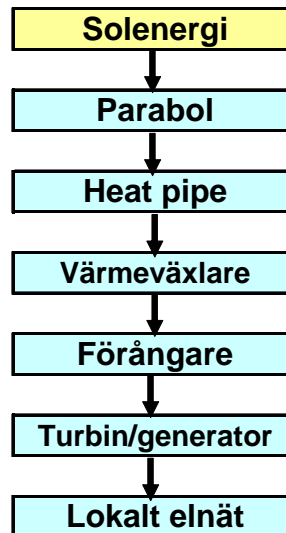
Ett alternativt sätt att koncentrera solenergin är att med hjälp av rörliga speglar rikta solstrålningen mot en värmewäxlaryta och på så sätt förånga ett medium som får driva en turbin som kopplats till en generator. Denna typ av utrustning är inte heller lämpad för svenska förhållanden.



Figur 5.82 Solkraft med Heliostat

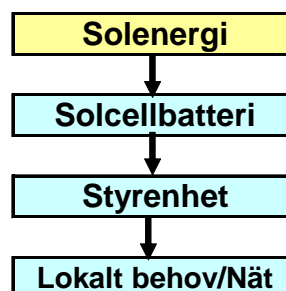
### 5.83 Solkraft med paraboliska koncentratörer

Paraboliska koncentratörer är ett alternativ till koncentratörerna enligt 5.81. Det tekniska genomförandet är mindre lämpat för storskaliga lösningar, men kan utnyttjas för anläggningar i mindre skala. I den begränsade omfattning som utbyggnad av solkraftanläggningar kan antas få i Sverige blir konsekvenserna rörande olika risker obetydlig.



### 5.84 Solceller

Solcellsmarknaden domineras i dag av kristallina kiselceller, men kommer sannolikt att på sikt ersättas med billigare teknik (12, 55). Således sker betydande forskningsinsatser inom områdena tunnfilmsceller baserade på exempelvis koppar-indiumdiselenid eller kadmium-tellurid. Fördelen med de senare är att det krävs endast en 100-del så mycket material som för de kristallina kiselcellerna. Kiselcellerna har en betydande marknad inom rymdtekniken. En alternativ teknik som erbjuder nära dubbelt så högt energiutbyte är celler som utnyttjar tre olika aktiva skikt baserade på grundämnena gallium-indiumfosfid, galliumarsenid och germanium. En sådan cell kan uppnå ett utbyte på drygt 40 % mot kiselteknikens maximala 26 %. Även andra alternativa tekniker är lovande. Till dags dato är dock solcellerna för dyra för att kunna konkurrera annat än under speciella förhållanden. Solceller kan inte väntas medföra några avgörande nya risker utöver de elektriska fel som kan hanteras via styrelektroniken. Det krävs fortfarande ett betydande prisfall för att solceller skall bli ett storskaligt alternativ .

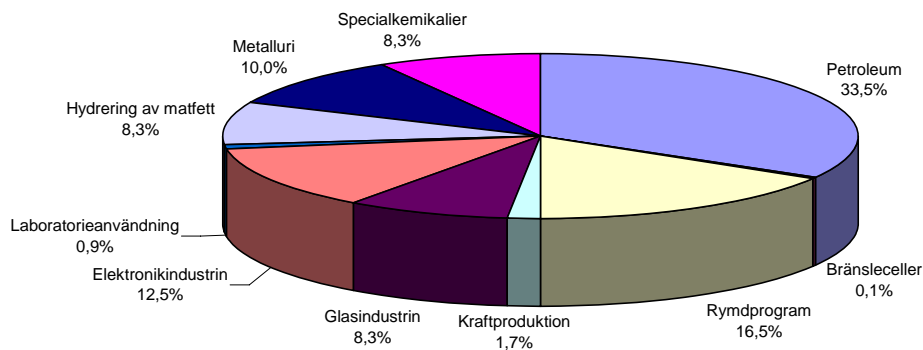


Figur 5.83 Solceller

## 5.9 Hydrogenteknologier

Det är en tilltalande tanke med ett fordonsbränsle som endast genererar vatten som biprodukt (12, 55, 74-81, 106, 115-119).

Stora mängder hydrogen produceras ständigt för industriell användning inom raffinaderier, ammoniak-, metanol- och petrokemiska anläggningar. I inget av dessa fall isoleras hydrogen för att kunna transporteras utanför anläggningen (undantag: rörledningar i Västeuropa, exempelvis Tyskland, Frankrike och USA).



Figur 5. Användning av hydrogen i Nordamerika 2001

Om hydrogen skall utnyttjas för fordonsdrift så kräver det en utbyggd infrastruktur för distribution. Detta är ett mycket kostsamt förslag.

Distribution av hydrogen kan ske på några principiellt olika sätt.

- Hydrogen genom ett nät av rörledningar

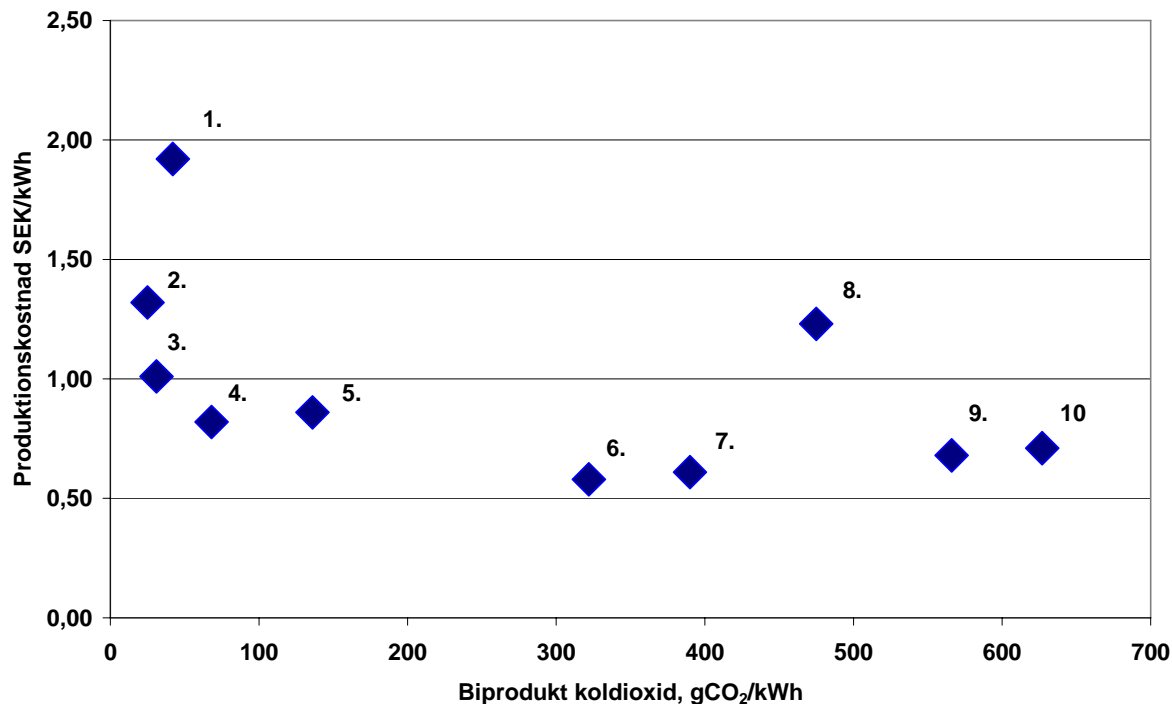
- Distribution under högt tryck tankbilar eller järnvägstankvagnar

- Distribution i flytande form i tankbilar eller järnvägstankvagnar

- Produktion på plats genom elektrolys av vatten

- Tillverkning på plats på kemisk väg – ”Hydrogen on Demand”(120)

En invändning mot såväl distribution som lokal tillverkning är att hela processen från tillverkning till användningen i fordonet får en låg total verkningsgrad vilket strider mot ett av huvudkraven på ett framtida energisystem. Lokal tillverkning på kemisk väg är knappast önskvärt eller realistiskt. Vid lokal tillverkning uteblir skalfördelarna helt. Elektrolys av vatten med efterföljande torkning och komprimering skulle tekniskt sett låta sig göras, men det blir sannolikt en prohibitivt dyr ”tankningsstation”. Det skulle knappast bli möjligt att finna avsättning för det oxygen som bildas parallellt med hydrogenen varför inget bidrag till kostnadsteckning kan påräknas på den vägen. Figur 6 visar olika produktionsalternativ för hydrogen där produktionskostnad avsats mot fossila koldioxidutsläpp (106).



Figur 6. Olika produktionsalternativ för hydrogen

Förklaringar:

1. Flytande hydrogen, solenergi för elektrolys, fartygstransport
2. Komprimerad hydrogen, vindenergi för elektrolys
3. Komprimerad hydrogen, kärnkraftsel för elektrolys
4. Komprimerad hydrogen, kolförgasning och koldioxidlagring
5. Flytande hydrogen, kolförgasning och koldioxidlagring
6. Komprimerad hydrogen, ångreforming av naturgas
7. Flytande hydrogen, ångreforming av naturgas
8. Komprimerad hydrogen, elektrolys (baserad på sammansättningen hos EU:s elproduktion)
9. Komprimerad hydrogen, kolförgasning
10. Flytande hydrogen, kolförgasning

Hydrogen förefaller upplevas av många som en enkel lösning på växthusproblematiken: ren och endast vattenånga bildas vid användningen. Då har man dessvärre förbisett det faktum att hydrogen inte är en primär energikälla utan att det måste produceras till hög kostnad och/eller koldioxidutsläpp.

Svårigheten att få plats med hydrogen i fordonen så att räckvidden liknar dagens bensin- och dieseldrivna bilar innebär att tankställena för hydrogen behöver ligga förhållandevis tätt.

Säkerhetsaspekterna anses inte vara ett avgörande hinder för introduktionen av hydrogen som energibärare under förutsättning att befintliga kunskapsluckor fylls och erfarenheterna från användningen delas. Ytterligare kunskap fordras rörande realistiska olycksscenarioer, exempelvis inhomogena blandningar.

I EU-sammanhang har följande positiva scenario för den framtida vätgasanvändningen skissats (tabell 11).

Tabell 11. Förväntad europeisk hydrogen och bränslecell utveckling

<b>Hydrogen dominerad ekonomi</b>		
	<b>Ar</b>	
Direkt produktion av H <sub>2</sub> från förnybara bränslebränslen. Samhälle fritt från fossil koldioxid.	<b>2050</b>	H <sub>2</sub> användning inom flyget
Utökad produktion av H <sub>2</sub> med koldioxid infångning - förnybara och fossil råvaror med koldioxidinfångning samt kärnkraft	<b>2040</b>	Bränsleceller dominerande teknik för transport, distribuerad kraft och mikroanvändningsområden (exv datorer)
Utbrett rörnät för H <sub>2</sub>	<b>2030</b>	H <sub>2</sub> dominerande bränsle för bränslecellbilar Betydande tillväxt av distribuerad kraftprod. med betydande andel bränsleceller
Sammankopplade lokala H <sub>2</sub> -nät Betydande H <sub>2</sub> -produktion från förnybara råvaror	<b>2020</b>	2:a generationens lagringsteknik för bilar Högtemperatur bränsleceller till låg kostnad Bränsleceller kommersiella för mikroavändn. och konkurrenskraftiga för fordon
H <sub>2</sub> -produktion från fossila bränslen med koldioxid infångning och lokal H <sub>2</sub> -prod. Grupper av lokala H <sub>2</sub> -tankingsstationer	<b>2010</b>	Fast oxidceller och hybriddrift kommersiell 1:a H <sub>2</sub> fordon (1:a generationens lagring)
H <sub>2</sub> -produktion från ångreforming av naturgas och elektrolys H <sub>2</sub> -transporter på vägarna, lokal produktion vid tankställen (reforming och elektrolys)	<b>2000</b>	Serieproduktion av bränslecellbilar Stationära lågtemperaturbränsleceller, <300 kW, Stationära högtemp. celler <500 kW, Stationär lågtemp celler för nicheanv. <50kW
<b>Fossilbränsle baserad ekonomi</b>		



Tabell 12. Hydrogen och elektricitet som energibärare

Aspekt	Hydrogen	Elektricitet
Miljöaspekt på etablerat system	OK	OK
Risker vid hantering och användning	Nya, okända för allmänheten	Kända
Investerings-aspekt	Mycket betydande nyinvestering	Befintligt system
Utsläpp	Vattenånga	Inga
Verkningsgrad	40-60%	>90%
Lagringsaspekt, energitäthet, (exkl gasbehållare)	33,3 kWh/kg, 0,75 kWh/l vid 300 bar	0,15 kWh/kg, 0,3 kWh/l, Li cells
Ref. bensin	12,7 kWh/kg, 8,8 kWh/l	-
Produktion från prim. energikällor	Alla	Alla

Ett utbyggt hydrogengasnät är ett mycket kostsamt förslag för energidistribution vid sidan av det elnät som är väl utbyggt och det naturgasnät som långsamt byggs ut längs Västkusten och in i landet i Sydsverige.

### 5.90 Komprimerad hydrogen

Om hydrogen skall kunna transporteras så måste det komprimeras eller överföras i flytande form. Det gäller i högsta grad om hydrogen skall användas som drivmedel för fordon. Kompressionsarbetet som normalt sker i tre steg är dock betydande och en betydande del av kompressionsenergin går förlorad då hydrogen skall transporteras genom att överföras mellan olika trycktankar. Trycket måste i flera fall höjas till cirka 200 bar för att ett minimum av hydrogen skall kunna tankas för att ge fordonet en acceptabel körsträcka. Kompressionsarbetet motsvarar cirka 30 % av hydrogenens energiinnehåll. Inom Sverige transporteras hydrogen normalt i batterier av tuber som sammanställs till enhetslaster (mindre container eller trailer). Hydrogen innehåller lite energi per volymenhet, cirka 1/3 vid jämförelse med naturgas, medan tillgänglig energi i 1 kg hydrogen motsvarar 2,8 kg bensin.

Tabell 13. Lagring av hydrogen och bensin

Lagringsmetod	Rel. Vikt	Rel. Volym
Komprimerat, 250 bar	4	10
Kompimerat, 650 bar	2,5	4,5
Flytande	3	6
Metallhydrider	9 - 2,5	3 - 2,5
Referens: bensin	1	1
U.S.DOE mål	6,5% H <sub>2</sub>	62 kg/m <sup>3</sup>

### 5.91 Flytande hydrogen

Ett alternativ till komprimering är att med hjälp av kompressionskylanläggningar kyla ned vätet tills det kondenserar (20,3°K eller -253°C). Även i detta fall liksom för fallet med komprimerad hydrogen, så måste betydande mängder av högvärdig elenergi tillföras för att åstadkomma kompressionsarbetet. Även i detta fall motsvarar energibehovet för kylningen ca 30 % av hydrogenens energiinnehåll även då processen utförs i stor skala (flera ton i timmen). Genom att kondensera hydrogen får man per volym plats med lika mycket hydrogen som om trycket hade höjts till 800 bar. Flytande hydrogen är mindre lämpat för fordonsdrift då det även med den bästa isolering skulle koka bort (och således behöva förbrännas på ett säkert sätt då fordonet inte används). Energitätheten (energi per volymenhet) för flytande hydrogen är mindre än en tredjedel jämfört med vanlig bensin.

## 5.92 Hydrogen som energibärare

På grund av problemen att lagra tillräckliga mängder av hydrogen i ett fordon för att ge tillräcklig körsträcka mellan tankningstillfällena har ett antal alternativa förslag till trycktank eller kondenserad hydrogen utretts (12):

Nickelhydridbatterier

Kemiska föreningar som kan reageras med vatten under hydrogenutveckling

Teoretiskt begränsas sökandet till de lättaste elementen i det periodiska systemet då målet är att få med mesta möjliga mängd hydrogen per viktenhet (exv. litiumaluminiumhydrid, borhydrid eller bor vilka kan reageras med vatten, eller ammoniak som kan katalytiskt sönderdelas till hydrogen och nitrogen). Ett alternativ som redan nämnts är naturligtvis metan, men då bildas koldioxid).

Tyvärr ger inga av dessa förslag liksom förslaget med hydrogen under tryck inte den energitäthet som vi är vana vid när vi använder flytande drivmedel. I samband med att diskussionen om ett hydrogensamhälle tog sin början lät den amerikanska miljömyndigheten, US-EPA, ställa upp en kravprofil på vad man bedömde nödvändigt att uppnå vad gäller lagring av hydrogen i fordon för att hydrogen skulle kunna ses som ett intressant alternativ. Hittills har inga realistiska (eller ens teoretiska) alternativ kunnat presenteras.

## 5.93 Termokemisk produktion av hydrogen

Många förslag till termokemiska processer har presenterats under åren (74, 106). Här skall endast presenteras ett par. Tanken är oftast att processerna skall drivas endera med solenergi eller storskaligt i kärnkraftanläggningar.

Ett förslag innebär en svaveldioxid & jod cykel: Förslaget innebär att tre reaktioner kopplas ihop. Nettoresultatet blir att vatten sönderdelas till hydrogen och oxygen. I första steget reagerar svaveldioxid med jod och vatten vid 900°C varvid svavelsyra och jodväte bildas. I en separat reaktion kan jodväte sönderdelas vid 450°C till jod och hydrogen. Slutligen kan svavelsyra sönderdelas till svaveldioxid vatten och oxygen. Många praktiska problem återstår och i nuvarande läge får det möjligen betraktas som ett intressant teoretisk förslag utifrån termodynamiska jämviktsberäkningar.

Ett annat förslag innebär att grundämnet bor får reagera med vatten varvid hydrogen och boroxid bildas. Drivmedlet blir således bor samt "vätebäraren" vatten samtidigt som biprodukten boroxid bildas, vilken senare får återvinnas (utanför fordonet). Även denna process får betraktas som teoretisk och möjligen futuristisk, men kommer med all sannolikhet inte att realiseras inom planeringshorisonten för denna studie. Energitätheten i flytande kolväten och den lätthet med vilken dessa kan transporteras och utnyttjas för energiomsättning gör att dessa (fossila, syntetiska eller med biologisk ursprung) får betraktas som överlägsna bränslekandidater även i en nära framtid.

## 5.94 Bränsleceller

Det finns ett flertal konstruktionsalternativ vad gäller bränsleceller (12, 74, 80, 81). Enkelt kan bränslecellen beskrivas som ett batteri där bränslet kan fyllas på varefter det förbrukas till skillnad från vanliga battericeller där en given mängd bränsle förbrukas varefter batteriet kastas, alternativt laddas genom att processen reverseras med hjälp av en yttre strömkälla.

Exempel på bränslecellstyper

Alkaliska celler

Fosforsyraceller

Polymer elektrolytmembran celler

Cell med smält karbonat

Fast oxid cell

Tabell 14 Bränsleceller, huvudtyper (12, 74)

Typ Akronym	Alkalisk AFC	Fosforsyra PAFC	Polymer SPFC/PEMFC	Karbonatmäta MCFC	Fast oxid SOFC
<b>Bränsle</b>	Ren hydrogen	Hydrogen (CO fri)		Hydrogen, metan, koloxid	
<b>Elektrolyt</b>	Kaliumhydroxid	Fosforsyra	Nafion polymer	Karbonatmäta	Zirkoniumoxid
<b>Elektroder</b>	Nickel	Grafit + platina		Nickel, nickeloxid	Nickel, keram
<b>Temperatur</b>	100°C	200°C	100°C	650°C	<850°C
<b>Verkningsgrad</b>	40%	40%	40%	60%	60%
<b>Användning</b>	Rymd, militär	Kraft, (<200 kW)	Rymd, fordon	Kraft, (MW)	Kraft, (kW-MW)

Alkaliska celler och celler med polymermembran har en arbetstemperatur kring 100°C, fosforsyraceller arbetar vid cirka 200°C medan de sista exemplen arbetar vid 600-900°C. De första tre exemplen kan utnyttjas med vätgas medan metanol kan användas för de sista två exemplen. Praktiska problem (den höga arbetstemperaturen) har hittills begränsat användningen till de tre första exemplen.

SL deltog under 2 år i ett EU-projekt, CUTE, där 2 bränslecellbussar drevs med hydrogen. Systemet fungerade ypperligt men då skall framhållas att det fanns servicetekniker Stan-by hela tiden och att bussarna servades alternativt. Systemet var oerhört kostsamt (exempelvis var inköpskostnaden 10 Mkr mot normalt cirka 3 Mkr). Med den behandling bussarna fick fungerade de tillfredsställande.

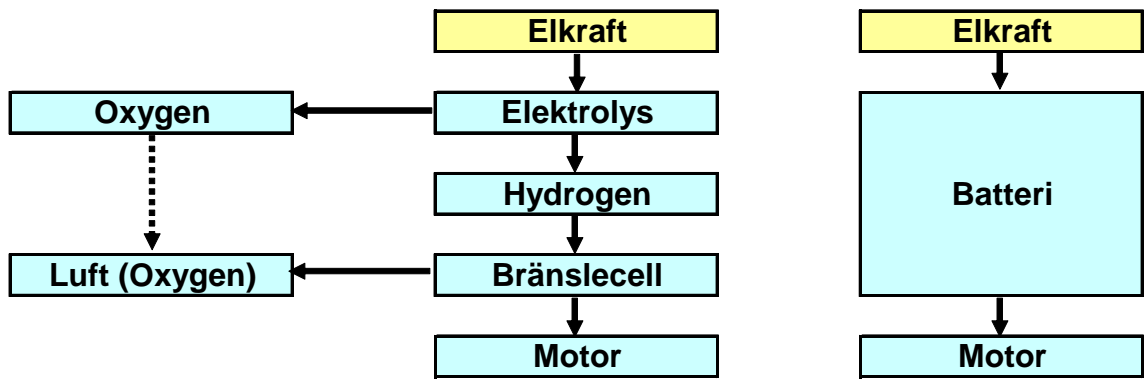
Sammantaget blir energieffektiviteten för ett vätgasdrivet bränslecell fordon mycket låg vilket är liktydigt med höga rörliga driftskostnader.

## 5.95 Batterier

Ett alternativt till bränsleceller är laddningsbara batterier vilka aktualiserats i och med intresset för hybridbilar där en mindre förbränningsmotor kompletteras med elmotor/generator och ett batteri (6, 16, 108-112). För att batteritekniken skall bli framgångsrik krävs dels att energitätheten är hög och att batterierna kan laddas snabbt samt att de kan laddas ur och laddas många gånger (> 1000 urladdningar till 80 %). Det mest lovande batterikonceptet är Litiumjonbatterier där Toshiba lyckats med att utveckla ett batteri som kan laddas från 20 % till 100 % på 1 minut. Litiumjonbatterier för fordonsändamål beräknas vara kommersiellt tillgängliga inom 10 år. Två principiellt olika utföranden för hybriddrift kan särskiljas:

- Förbränningsmotor driver generator som laddar ett batteri. Fordonet drivs av en elmotor som tar sin energi från batteriet.
- Förbränningsmotor och elmotor/generator är sammankopplade och driver fordonet. Batteriet förser elmotorn med energi när fordonet skall accelerera. Vid retardering utnyttjas motorn/generatoren för att återta rörelseenergin och ladda batteriet. Batteriet kan även laddas då förbränningsmotorn inte utnyttjas fullt ut. Batteriet-elmotorn kan även utnyttjas (för kortare sträckor) utan att förbränningsmotorn startas

I batterifallet finns bränslet i form av anod- och katodmaterial i vilka den kemiska energin är lagrad, I fallet bränslecellen tillförs bränslet utifrån (i det valda exemplet hydrogen respektive oxygen från luften).

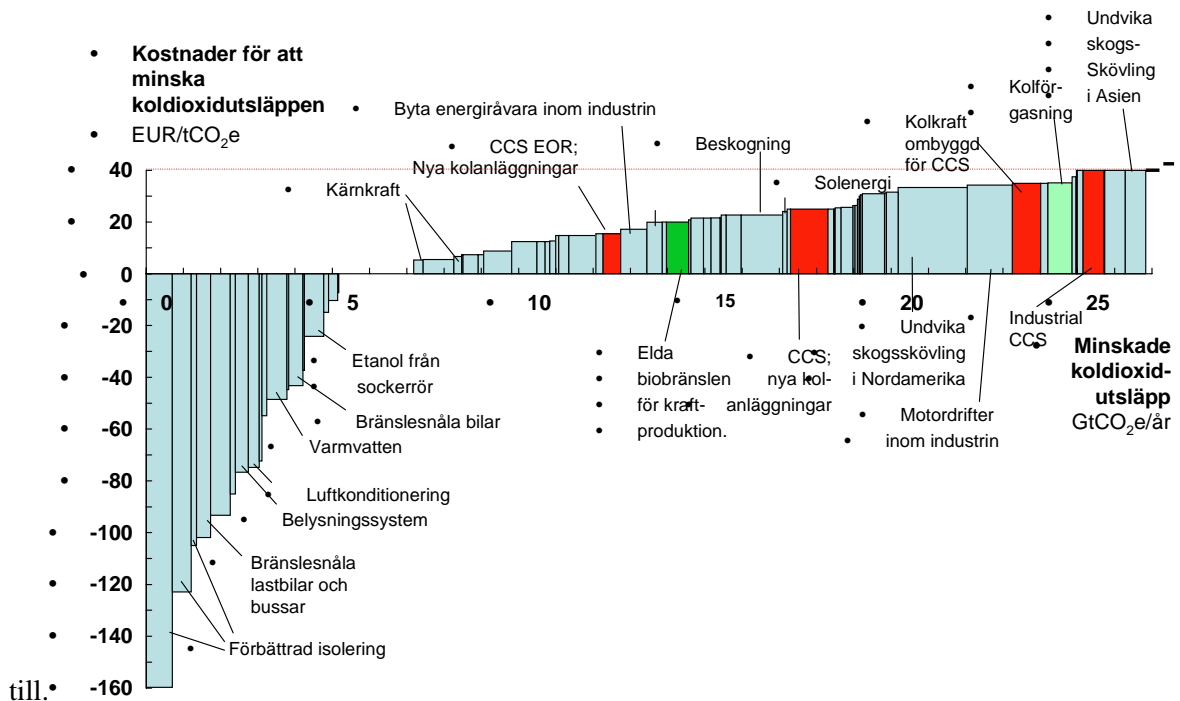


Figur 5.95 Bränslecell respektive batteri för fordonsdrift

Ett renodlat koncept för eldrift kräver ett batteri som tå att laddas ur och laddas i högre grad än vad som krävs i hybridfallet. Pluggkompatibla hybrider kan ses som ett alternativ på väg mot eldrift där räckvidden utsträcks med en förbränningsmotor. Ytterligare ett alternativ för fordonsdrift är trådbussen eller spårvagnen där elkraften utnyttjas direkt för motordriften. Totalverkningsgraden blir klart högre i detta fall än för fallet med bränsleceller. Modern batteriteknologi förefaller lovande vad gäller en framtida batteridrift även om körsträckan mellan laddningar blir lägre än vad vi är vana vid och framför allt blir ”tankningen” mer tidskrävande.

### 5.96 Energieffektivitet, besparingar

Oavsett vilka vägar som Energisystemets utveckling tar så kommer effektiviserande åtgärder och möjliga besparingar att vara det enklaste och effektivaste sättet att minska klimatpåverkan genom att begränsa utsläppen av växthusgaser. De utmaningar som ligger framför oss kräver att vi ifrågasätter vårt beteende och de aktiviteter vi vant oss vid att genomföra. Därtill krävs att vi investerar i teknologi som möjliggör för oss att kraftigt minska den klimatpåverkan som våra aktiviteter ger upphov



Figur 7. Kostnader för att reducera koldioxidutsläppen till 2030 (127)

Ur figur 7 kan utläsas att kostnaderna för att genomföra olika åtgärder för att minska koldioxidutsläppen varierar kraftigt. Genom energibesparingar och effektiviseringar kan betydande belopp sparas när de lönsammaste åtgärderna vidtas. I figur 7 kan 7 Gt/år (7 miljarder ton/år) sparas utan att driftskostnaderna ökas. Vidare framgår att utsläpp motsvarande 27 Gt/år kan sparas in till en kostnad inte överstigande €40/ton. För överskållighetens skull har endast vissa typer av bidrag pekats ut som exempelvis isolering och deponering av koldioxid (CCS, röda staplar). Det framgår vidare att skogsvård kan bidra kraftigt till att binda koldioxid.

### 5.97 Utbudssidan

Det är synnerligen viktigt att samhället kan erbjuda energi till konkurrenskraftiga priser och resurseffektivt. Vi är utsatta för en global konkurrens samtidigt som vi skall förändra vårt energiförbrukningsmönster. Vi måste fatta beslut som innebär att vi kan utnyttja den tillhandahållna energin med ett minimum av miljöpåverkan (6). Samhället måste styra vår energiefterfrågan med varlig men bestämd hand för att trovärdigheten och tillförsikten skall bestå. Ett för kraftfullt agerande riskerar att inte ge förlängt förtroende, men även ett för lamt agerande kan innebära byte av politiskt ledarskap då vi inte upplever att problemen vi står inför tas på allvar. De stora förändringar som ligger framför oss kräver att vi på ett klart och tydligt sätt fattar beslut om nödvändiga förändringar av energisystemet. Vi måste våga presentera de alternativ som föreligger tydligt, inklusive de ekonomiska konsekvenserna. Storskaliga åtgärder kommer sannolikt att inkludera deponering av koldioxid, men lokal elproduktion i biobränsleeldade värmekraftverk kommer säkert att utnyttjas där förutsättningarna finns.

### 5.98 Efterfrågesidan

Medan utbudssidan i huvudsak hanteras av experter (och politiker) så påverkar vi genom våra preferenser en betydande del av energiefterfrågan (16). Vi kommer att behöva ge akt på vårt beteende för att begränsa den aningslösa energiförbrukning som vi i många fall vant oss vid. Det kommer sannolikt att behövas utbildningsaktiviteter för att vi skall ändra vårt beteende. Goda förebilder och exempel kommer att behövas för att invanda beteenden skall kunna förändras och riktningen på utvecklingen vändas i hållbar riktning. Vi kommer att behöva nya produkter som kan fyllas med önskvärt innehåll utan att det betyder hög energiförbrukning.

Elförbrukningen för diverse ändamål kommer sannolikt att öka samtidigt som användningen av direktverkande el kommer att begränsas av kostnadsskäl, till exempel genom installation av luftvärmepumpar, eller när det är ekonomisk försvarbart, anslutning till fjärrvärmenätet.

## 6. Olycksrisker

Allvarliga olyckor är ett synnerligen kontroversiellt ämne sett utifrån allmänhetens perspektiv och för bedömning av energipolitiken. Det har visat sig besvärligt att sammanställa tillförlitliga data rörande de mest frekventa olyckorna vars omfattningar är svår att bedöma. Svårigheten hänger samman med brister i inrapporteringen av olyckorna från berörda räddningstjänster (motsvarande). Databasen ENSAD (Energy-related Severe Accident Database) som administreras inom Paul Scherrer Institut i Villigen, Schweiz (86), såväl som Räddningsverkets databas över Insatsrapporter från de kommunala Räddningstjänsterna känner av samma typ av felkälla i ingående material. Inom PSI har man delvis valt att lägga gränsen för vad man redovisar som allvarliga olyckor förhållandevis högt med resultatet att antalet olyckor man kan redovisa blir kraftigt reducerat.

Tabell 15.. Kriterier för allvarlig olycka då resultaten från ENSAD analyseras

Kriterium	Beskrivning – minst ett av kriterierna skall vara uppfyllt
1	5 eller fler omkomna
2	10 eller fler skadade
3	200 eller fler evakuerade
4	Ett omfattande förbud mot förtäring av livsmedel
5	Ett utsläpp av minst 10 000 ton kolväten
6	Ett område, land eller vatten, på mer än 25 km <sup>2</sup> som kräver sanering
7	En ekonomisk skada som uppskattas till minst 5 miljoner USD

Tabell 16. Olyckor som finns redovisade i ENSAD

Olyckstyper	Antal	Kommentar
Antalet rapporterade olyckor i ENSAD	18 400	70 % mänsklig orsak
Varav inom perioden 1969 – 2000	16 400	Ca. 550 olyckor/år
Energirelaterade olyckor	Ca. 7 500	Ca. 40 % eller 250/år
Allvarliga olyckor enl. ovanstående def.	3 117	75 % utom OECD
Allvarliga olyckor med mer än 5 omkomna	2 078	

Under perioden 1969 – 2000 omkom 3,4 miljoner personer i olyckor eller naturkatastrofer, varav 90 % av de omkomna kan härröras till naturkatastrofer. Huvuddelen av de energirelaterade olyckorna kan hänföras till andra steg i energikedjan än själva energi-omvandlingen. Sålunda kan vattenkraftolyckor knytas till vattenkraftdammar som rasar och över 95 % av olyckorna inom kolindustrin sker i samband med kolbrytningen. För oljeanvändningen så drabbas sjötransporterna och lastbilstrafiken av de flesta olyckorna. Naturgasproduktionen drabbas också av de flest olyckorna i samband med överföringen via naturgasnäten. Olyckorna relaterade till kolproduktion drabbar enbart gruvarbetare medan olje- och naturgasrelaterade olyckor drabbar ett betydande antal åskådare. Vad gäller kärnkraft så dominerar de latent dödsfallen på grund cancer, ett resultat av strålskador.

OECD-länderna uppvisar signifikant lägre olyckssiffror än icke-OECD-länder. Säkerhetskulturen inom OECD leder till markant minskad olycksrisk. Bland de fossila energikällorna så är det de flytande petroleumgaserna propan och butan de som orsakar flest olyckor. Kol och olja är tydligt riskablare än naturgas. Västerländska kärnkraftverk och vattenkraftverk framstår som de säkraste.

Övergripande synpunkter.

- Energiförbrukningens tillväxt kommer sannolikt att brytas
- Biobränslen och andra förnybara energikällor kommer att gynnas vilket på olika sätt medför en småskaligare hantering inom energisystemet
- Fossila bränslen kommer att begränsas
- Fossil koldioxid kommer att börja deponeras

I de följande fyra tabellerna har kvalitativa och kvantitativa uppgifter, i de fall kvantitativa uppgifter finns att tillgå, sammanställts för att söka ge en överskådlig bild av hur olycksrisker påverkas av ett förändrat energisystem.

Tabell 18.1 visar en grov sammanställning av hur de 18400 registrerade olyckorna i ENSAD (Energy-related Severe Accident Databas) fördelas på energislag och i processen från energiråvara till slutlig energiomvandling i en matris baserad på möjliga energikällor i det svenska energisystemet.

För kol framgår klart att den väsentligaste risken för olyckor är kopplad till arbetet i gruvorna. Internationellt sett har Kina de största problemen med osäker gruvdrift. Vi har inte heller Olje- eller gaskällor varför riskerna som är knutna till utvinningsstadiet och transporter genom rörledningar och med oceangående fartyg i huvudsak inte primärt berör oss.

Val av teknik och säkerhetstänkande inom OECD har förskonat oss från allvarliga kärnkrafts-olyckor. Det är synnerligen viktigt att säkerhetskulturen hålls högt och utvecklas vidare för att vi skall kunna behålla den höga säkerhetsnivån.

Dammsäkerhetsfrågor måste likaså ha hög prioritet för att åldrande dammar inte skall vara liktydigt med ökande risker. Även här har vi en mycket hög säkerhet att försvara.

Tabell 18.2 visar i samma matris som ovan var vi har kända olycksrisker för etablerade delar av energisystemet och var vi har nya växande, i de flesta fallen förnybara energikällor där själva tillväxten i sig gör att vi kan bli medvetna om nya risker som vi eventuellt inte reflekterat tillräckligt över tidigare.

Tabell 18.3 avser att belysa hur på grund av ändrad energiförbrukning riskbilden kan förändras både vad avser kända olycksrisker (olyckor som finns redovisade i ENSAD) samt möjliga nya olyckstyper för de i huvudsak förnybara komponenterna i energisystemet. Det finns knappast anledning att anta att tidigare okända olyckstyper skall uppträda. Omfattningen och fördelningen av de nya olyckstyperna är naturligtvis okända, men det finns anledning att anta att transportolyckor/trafikolyckor och bränder kommer att utgöra det största antalet. Konsekvenserna av de nya olyckstyperna kommer sannolikt att bli begränsade.

Tabell 18.1. ENSAD – Allvarliga olyckor och deras ungefärliga andel

Energisystem	Utforskning	Utvinning	Produktion	Lagring	Transporter				Omvandling kraft & värme	Avfall
					Rörl.	Int'l	Reg'l	Lokal		
<b>Kol</b>		Explosioner och bränder								
CO2 sep./dep.										
<b>Naturgas, NG</b>		Gaskällor blowouts			GL		GL		Processolyckor	
LNG										
<b>Olja</b>	Undersökn till havs	Gaskällor blowouts	Processolyckor			TF		TB		
Besin			Processolyckor			TF		TB		
Diesel			Processolyckor			TF		TB		
Eldningsolja			Processolyckor			TF		TB		
Fordonsgas, LPG			Processolyckor			TF		TB		
Fordonsgas, NG										
<b>Kärnkraft</b>									Härdsmlta	
<b>Vattenkraft</b>				Dammras						
<b>Biomassa, pellets</b>										
<b>Bioetanol</b>										
<b>Biodiesel, FAME etc.</b>										
<b>Biogas</b>										
Fordonsgas, NG										
<b>Solceller</b>										
<b>Solvärme</b>										
<b>Vindkraft</b>										
<b>Vågkraft</b>										
<b>Hydrogen</b>										
<b>Övrigt</b>										

Andel av inträffade olyckor, %	
0-5	30-60
5-15	60-100
15-30	na

Förkortningar:	
GL	Gasledning
TF	Tankfartyg
TB	Tankbil



Tabell 18.2. ENSAD – Kända olycksrisker och okända olycksrisker

Energisystem	Utforskning	Utvinning	Produktion	Lagring	Transporter				Omvandling kraft & värme	Avfall
					Rörl.	Int'l	Reg'l	Lokal		
<b>Kol</b>		Explosioner och bränder								
CO2 sep./dep.										
<b>Naturgas, NG</b>		Gaskällor blowouts			GL		GL		Processolyckor	
LNG										
<b>Olja</b>	Undersökn till havs	Gaskällor blowouts	Processolyckor			TF		LB		
Besin			Processolyckor			TF		LB		
Diesel			Processolyckor			TF		LB		
Eldningsolja			Processolyckor			TF		LB		
Fordonsgas, LPG			Processolyckor			TF		LB		
Fordonsgas, NG										
<b>Kärnkraft</b>									Härdsälta	
<b>Vattenkraft</b>				Dammas						
<b>Biomassa, pellets</b>										
<b>Bioetanol</b>										
<b>Biodiesel, FAME etc.</b>										
<b>Biogas</b>										
Fordonsgas										
<b>Solceller</b>										
<b>Solvärme</b>										
<b>Vindkraft</b>										
<b>Vågkraft</b>										
<b>Hydrogen</b>										
<b>Övrigt</b>										

Sortering av olycksrisker
Icke aktuella
Kända typer
Möjl. Nya typer av olyckor

Förkortningar:	
GL	Gasledning
TF	Tankfartyg
TB	Tankbil

Tabell 18.3. ENSAD – Risker - Ändrad betydelse på grund av ändrad energiförbrukning

Energisystem	Utforskning	Utvinning	Produktion	Lagring	Transporter				Omvandling kraft & värme	Avfall
					Rörl.	Int'l	Reg'l	Lokal		
<b>Kol</b>		Explosioner och bränder								
CO2 sep./dep.										
<b>Naturgas, NG</b>		Gaskällor blowouts			GL		GL		Processolyckor	
LNG										
<b>Olja</b>	Undersökn till havs	Gaskällor blowouts	Processolyckor			TF		LB		
Besin			Processolyckor			TF		LB		
Diesel			Processolyckor			TF		LB		
Eldningsolja			Processolyckor			TF		LB		
Fordonsgas, LPG			Processolyckor			TF		LB		
Fordonsgas, NG										
<b>Kärnkraft</b>									Härdsälta	
<b>Vattenkraft</b>				Dammas						
<b>Biomassa, pellets</b>										
<b>Bioetanol</b>										
<b>Biodiesel, FAME etc.</b>										
<b>Biogas</b>										
Fordonsgas										
<b>Solceller</b>										
<b>Solvärme</b>										
<b>Vindkraft</b>										
<b>Vågkraft</b>										
<b>Hydrogen</b>										
<b>Övrigt</b>										

Bedömning av olycksrisker	
Icke aktuella	Oförändrad användning
Ökad användning, ökad risk	minskad användning & risk

Förkortningar:	
GL	Gasledning
TF	Tankfartyg
TB	Tankbil

Tabell 18.4. ENSAD – Risken för allvarliga olyckor relaterade till energisystemet

Energisystem	ENSAD data*		Omkomna per Gweyr**	Svenska förhållanden***	Kommentar
	Olyckor	Omkomna			
<b>Kol</b>	75	2259	0,157	<(0,5)	De riskabla verksamheterna bedrivs utanför Sverige
CO2 sep./dep.					Inga data
<b>Naturgas, NG</b>	92	1059	0,087	<0,09	
LNG	5	65			Inga data
<b>Olja</b>	165	3789	0,135	<3	Störst risk vid transport till raffinaderi och regionalt
Besin	38	633	0,079		
Diesel					Inga data
Eldningsolja					Inga data
Propan, butan	59	1905	1,957	(1?)	Störst risk på grund av tunga gaser
Fordonsgas, NG	70	815			
<b>Kärnkraft</b>	0	0	0	0	Inga omkomna inom OECD
<b>Vattenkraft</b>	1	14	0,003	0,02	Ett fåtal omkomna inom OECD (dammras i USA)
<b>Biomassa, pellets</b>					Inga data
<b>Bioetanol</b>					Inga data
<b>Biodiesel, FAME etc.</b>					Inga data
<b>Biogas</b>	50	574	0,047		Inga data
Fordonsgas	33	395	0,032		Inga data
<b>Solceller</b>			0,01		Inga data
<b>Solvärme</b>	Förklaringar:				Inga data
<b>Vindkraft</b>			0,0073		
<b>Vågkraft</b>	*/ avser ENSAD data för 1969 - 2000				Inga data
<b>Hydrogen</b>	**/ GWeyr eller Gigawattår energi (= 8,76 TWh)				Inga data
<b>Övrigt</b>	***/ Svensk energiförbrukning multiplicerat med antalet omkomna per Gweyr				

I tabell 18.4 görs ett försök till kvantitativ jämförelse med ENSAD(99, baserat på data för OECD). Eftersom vi inte har somliga olyckdrabbade steg i vissa energiförädlingskedjor så kommer ENSAD som nämnts tidigare att kraftigt överskatta riskerna för allvarliga olyckor. Dock är utgången betryggande trots detta eftersom säkerhetsnivån inom OECD är hög. En reservation bör göras för att det kan förekomma exempelvis trafikolyckor som skulle kunna hänföras till energirelaterade olyckor men som betraktats som enbart trafikolyckor (jfr problemet som redovisats tidigare angående tillförlitligheten på information i databaserna).

Tabell 19 redovisar en kvalitativ bedömning av nya olycksrisker rörande fordonsgaser  
Flera olika fordonsgaser kan tänkas bli aktuella:

- Naturgas (fossil metangas, komprimerad)
- Biogas (metangas, men framställd ur biologiska råvaror, komprimerad)
- Propan/butan (LPG, i flytande form under ett fåtal bars övertryck)
- Hydrogen, (komprimerad, högt tryck)

Ett intresse för att utnyttja metangas för fordonsdrift har lett till en utveckling av tekniken för att tanka gas under högt tryck så att man kan undvika att gas läcker ut när fyllningen avslutas.

Teknikutvecklingen anses så säker att tanka metan inte anses mera riskfyllt än att tanka bensin. Metan och vätgas är lätta gaser som inte ”flyter ut” längs golv eller mark utan sprids och späds ut. Av detta skäl anses propan/butan och bensinångor i många sammanhang utgöra ett större problem.

Antändningsenergin är mycket lägre för vätgas än för metan och de andra gaserna. Risken för brand eller explosion är avgjort större om hydrogen läcker ut.

Slutligen krävs mer av den tekniska utrustningen för att förhindra läckage av hydrogen. Dessa faktorer kan sammanfattas i tabell 9. En viktig faktor att ta med i bedömningen är likaså användarnas erfarenheter och utbildning för ändamålet.

Tabell 19. Faktorer att beakta då risken med användning av olika gaser skall bedömas.

Gas	Teknik	Täthet rel. luft	Antänds	Läckagerisk	Rel. Risk
Naturgas	Ny, säkrare	Låg	Rel. Svårt	Normal	Lägre
Biogas	Ny, säkrare	Låg	Rel. Svårt	Normal	Lägre
Propan/butan	Äldre teknik	Hög	Rel. Svårt	Lägre	Högre
Hydrogen	Ny säkrare	Mycket låg	Mycket lätt	högre	Högre

Tabell 19 visar hur en kvalitativ analys kan genomföras. Risken för olyckor med propan/butan är baserad på erfarenhet och överensstämmer med erfarenheterna som redovisas i databasen ENSAS (figur 18.4). En viktig orsak är att gasen är tung och kan ansamlas på exv. golv så att farliga koncentrationer uppnås.

Hydrogen kan däremot ansamlas högt (under tak) i dåligt ventilerade utrymmen. Hydrogen har mycket vida explosionsgränser i blandning med luft (4 – 75 volym-%) Förluster vid framställning av hydrogen gör att den totala verkningsgraden blir låg då gasen skall användas för exempelvis fordonsdrift.

När en ny teknik introduceras görs alltid en värdering av möjliga risker. Den riskanalysen kan genomföras mer eller mindre grundligt, men det krävs alltid en kombination av kreativitet och systematik för att undvika att risker förbises. Det är vidare närmast ofrånkomligt att introduktionen av en ny teknik förr eller senare leder till att olyckor av oväntat slag eller oväntade orsaker uppträder om än med låg sannolikhet. Tillspetsat: Framgång leder till problem. Det är därför av största vikt att tillbud och enstaka händelser utvärderas för att om möjligt eliminera kommande olyckor.

## 6.1 Kol

Förbrukningen av kol kommer att vara i allt väsentligt oförändrad. Inga förändrade eller nya typer av risker eller olyckor är att förvänta.

Tekniken att separera och deponera koldioxid (på Engelska Carbon Capture and Sequestration) på ett säkert sätt kommer att utnyttjas, men sannolikt i närhet av tömda gas eller oljefält där koldioxiden kan pumpas ned. Tekniken kan möjligen utnyttjas i begränsad omfattning i Skåne genom deponering i en akvifär.

## 6.2 Naturgas

Naturgasen kommer att få ökad betydelse i Sverige. I den mån det handlar om ersättning av olja med naturgas så innebär det en betydande minskning av koldioxidutsläppen. Ökad användning innebär en ökad risk. Tekniken är väl känd och utnyttjad inom EU, men innebär inte någon ny olycksrisk med ett undantag om vätskeformig naturgas (LNG) introduceras i Sverige. Eftersom tekniken är väl etablerad på annat håll så finns ingen anledning att befara någon större okänd risk för olyckor.

## 6.3 Olja

Vi kommer att se en förskjutning från petroleumprodukter mot förnybara energikällor. Förändringarna kommer att fortsätta som tidigare genom att de förbrukningar som är enkla att ersätta kommer att ersättas i första hand. Tyvärr är de enklaste utbytena redan genomförda och nu kommer turen till de besvärligare drivmedelsfrågorna. De petroleumrelaterade riskerna kommer att reduceras och inga nya typer av olyckor är att vänta vad gäller de flytande produkterna.

En ökad användning av komprimerad naturgas för fordonsdrift kommer att öka riskerna med denna användning. Eftersom komprimerad biogas – samma gas, men annat ursprung – redan utnyttjats så är det osannolikt att det uppstår nya typer av olyckor. Se biogas nedan.

## 6.4 Kärnkraft

Som framgår av statistiken från ENSAD så är kärnkraften säker i förhållande till övriga energikällor. Detta är resultatet av en högt utvecklad säkerhetskultur. Den vidare driften av befintliga kärnkraftverk och på sikt utbyggnad av kärnkraften kommer inte att medföra risk för nya typer av olyckor, men ett fortsatt utnyttjande och på sikt möjligen ökat utnyttjande av kärnkraftproduktionen innebär att den låga risken finns kvar. Samtidigt utvecklas säkerhetsarbetet varför ökat utnyttjande kan kompenseras genom den utvecklade säkerheten. Mätt i gigawattår/olycka (GWår/olycka) av viss omfattning så bör risken minska medan risken i absoluta tal sannolikt ökar marginellt, men mindre än om alternativa energikällor utnyttjats.

## 6.5 Biomassa, pellets

Utnyttjning av biobränsle, ved i olika former, för uppvärmningsändamål har utvecklats kraftigt av ekonomiska skäl då oljeeldning på grund av stigande råoljepriser, men framför allt på grund av pålagor blivit allt kostsammare. Utvecklingen av pelletsförbrukningen är logisk då den möjliggör ett bekvämt oljeeldningsliknande sätt att elda. Det finns inga starka skäl att betrakta pelletseldning som speciellt riskfyllt utan normal aktsamhet vid eldning borde vara tillräckligt. Nu visar det sig att ett antal olyckor inträffat med pelletshantering. Den vanligaste orsaken till olycka är brand i anläggning för pelletseldning. Den vanligaste orsaken till brand är att lågor sprids bakvägen från brännaren via inmatningen till pelletslagret. Här bör insatser ske för att göra hanteringen säkrare. Andra olyckor har orsakats av varmgång i lager vid pelletstillverkningen eller i transportör.

En arbetare omkom när han överrumplades av koloxid i ett slutet utrymme. Ytterligare några ur räddningspersonalen skadades under räddningsarbetet men överlevde. I det specifika fallet inträffade olyckan ombord på ett fartyg vid inspektion i samband med lossning. Risken för denna typ av olycka bör kunna elimineras genom betryggande ventilation innan man vistas i eller i anslutning till utrymmen (exempelvis lastrum) där betydande kvantiteter pellets lagras. Det kan förväntas att pelletshanteringen kommer att ökas i framtiden varför risken för denna nya typ av olycka måste

elimineras så gott det går. När den väl identifierats förefaller möjligheterna att undvika ett upprepande vara goda.

En annan typ av olycka som rapporterats rör självantändning i pelletslager (Härnösand 2004-09-08 – 13, och Oskarshamn 2005-11-13). Även denna typ av olycka bör kunna bemästras exempelvis genom ändrade lagringsrutiner eller genom att utnyttja en inert atmosfär bestående av nitrogen (eller koldioxid). Detta kräver åtgärder för att förhindra kvävningsolyckor om någon av misstag eller okunnighet skulle komma in på det skyddade området. Risken för självantändning torde gälla större lager i anslutning till pelletstillverkning eller hos stora förbrukare. Med ett utvecklat säkerhetstänkande förefaller det möjligt att hantera de olycksrisker som identifierat liksom de konventionella olyckstyper som kan förväntas.

Tabell 20. Olyckor vid pelletsanvändning (128)

När	Tillverkning	Kraft/värmeanl.	Flerbostadshus	Villor	Transport
Frekvens ggr/år	10	10	4	35	1
Anmärkning	Varmgång, självantändn.	Brand, varmgång, självant.	Brand vid inmatning	Brand vid inmatning	Koloxidförgiftning

### 6.51 Bioetanol, E85

Att etanol är brandfarligt torde vara bekant för alla. Industriell hantering av etanol är likaså bekant och erbjuder inga svårigheter. När E85 introducerades för fordonsdrift restes vissa varningar för dess säkra hantering vid tankningstillfällena. Studier initierades och genomfördes, men dessa tyder inte på någon väsentlig ökad risk eller ny typ av potentiell olycka. Gasvolymen ovanför E85 är brännbar och explosiv inom ett temperaturintervall som gör att den är brännbar/explosiv under fler dagar under året än vad som gäller för bensin. Det rekommenderas därför att flamsräddare installeras i gasåtervinningssystemet på tankstationerna. Det finns i dag erfarenhet ifrån mer än 600 tankningstationer och 45 000 bilar (2006) som tyder på att inga ökade olycksrisker verkar föreligga. Vissa modifieringar har genomförts, exempelvis kan inte pumphantaget hakas upp så att man kan lämna bilen medan man tankar. Ett par utsläpp av E85 har rapporterats per år. Inga övriga noteringar rörande olyckor förekommer. Risken för antändning av ångor har diskuterats och varit föremål för utredning, men förefaller inte utgöra någon väsentlig risk. Det allmänna riskmedvetandet kring bensinstationer tycks vara tillräckligt.

### 6.52 Biodiesel

Mättade fettsyrastrar tillverkade från vegetabiliska oljor som rapsolja (i exv. Sverige), sojaolja (i exv. USA) samt palmolja (den senare ifrågasatt av miljöskäl). Det finns inga tecken på att hanteringen av biodiesel skulle vara farligare i något avseende än normal diesel. Hög flampunkt och mättade estrar förefaller borga för att vare sig antändning genom statisk elektricitet eller självantändning skall ske. Olyckshändelser som leder till utsläpp i naturen förefaller något mindre katastrofalt än utsläpp av en petroleum fraktion. Det finns inga insatsrapporter som tyder på att biodiesel innebär en ökad risk för olyckor.

### 6.53 Biogas

En ökad användning av renad och komprimerad biogas för fordonsdrift är att vänta. Tekniskt sett är det metangas, det vill säga samma gas som naturgas, men med ett annat ursprung. Biogas för fordonsdrift har redan utnyttjats under många år så är det osannolikt att det uppstår nya typer av olyckor. Dock leder en ökad användning av fordonsgas till ökad sannolikhet för att olyckor skall inträffa. Lokal produktion av biogas kommer att bli vanligare varför möjliga risker kan uppträda på nya platser. Fler icke experter kommer att hantera påfyllnad av gas i framtiden, men det bedöms inte behöva innebära några speciella risker då den nya tekniken för fyllnad av tanken och återtagandet av ångorna anses överlägsen tidigare system. Likväl förekom några utsläpp av biogas. Ett utsläpp skedde i samband med

tillverkningen, ett annat i samband med leverans av biogas till ett försäljningsställe. Tre utsläpp rapporteras i samband med tankning. Det finns skäl att studera de inträffade incidenterna för att se om det finns specifika lärdomar att dra och vilka åtgärder som bör vidtas.

Enbart E.ON förväntade försäljning av fordonsgas (biogas) väntas medföra en reduktion av koldioxidutsläppen med 10 % (relativt fortsatt användning av bensin). Planerna förefaller inte förverkligas i den takt som E.ON hoppats på.

## 6.6 Vattenkraft

Svensk vattenkraft är färdigutbyggd. Det förefaller osannolikt att kvarvarande outbyggda älvar skall tas i anspråk för kraftproduktion. Vattenkraftproduktionen är säker. Internationellt så har ett fåtal dammrar fått förödande konsekvenser, varav ett i USA (14 omkomna). De inträffade olyckorna har satt fokus på arbetet att fortsätta att utveckla dammsäkerheten. Det handlar om ett självklart underhållsarbete. Eftersom konsekvenserna av ett dammras blir förödande så krävs en säkerhetskultur som liknar den som utvecklats för kärnkraftverken. Med ett fortsatt dammsäkerhetsarbete så finns det ingen anledning att se skäl till vare sig ökade risker för olyckor eller ny olyckstyper.

## 6.7 Vindkraft

Vindkraften kommer att byggas ut kraftigt från dagens blygsamma nivå när väl motståndet emot utbyggnadsplanerna övervunnits. Det kommer sannolikt att byggas flera tusen anläggningar i Sverige och de kommer även att bli större och större (från 1-2 MW till 5-6 MW). Kraftverken i sig kan knappast betraktas som riskabla, möjligen för de servicetekniker som i en framtid skall genomföra underhåll. Ett möjligt olycksscenario skulle kunna vara att kraftverket förstörs under en storm, men det bedöms som en synnerligen osannolik händelse. De störningar i form av svischande ljud som man förekomma kan inte räknas in i de olyckor som denna studie fokuserar på.

### 6.7.1 Vågkraft

Vågkraft är knappast på mer än idéstadiet ännu, varför det knappast kan tänkas mer än enstaka demonstrations- eller pilotanläggningar för 2020. Det återstår att övertyga om att det finns områden med lämpliga vågor i vår närhet, exempelvis längs Västkusten. Olycksrisker i samband med vågkraftanläggningar kan man på detta stadium endast spekulera om. Två typer av olyckor förefaller vara de mest sannolika: Servicearbete på anläggningar till havs liksom olyckor med mindre fartyg, eller snarare båtar. Med tanke på hur lång tid som krävts för att vindkraftutbyggnaden skulle ta fart så förefaller det osannolikt att vågkraft i nämnvärd omfattning skulle förekomma i svenska vatten för 2030.

## 6.8 Sol, solvärme

Det är osannolikt att solvärme skulle få annat än marginell betydelse, bortsett från den naturliga och avgörande, här i Sverige. Tekniskt set kan tekniken användas för varmvattenberedning under den varmare delen av året. Inga speciella olyckstyper har kunnat identifieras, så konsekvenserna förefaller försumbara.

### 6.8.1 Solceller

Solceller (eller på Engelska Photovoltaic cells) har i dag försumbar betydelse. Mindre paneler kan användas för elförsörjning för avlägset belägna ändamål. Kostnaden för panelerna är i dag så pass högt att det inte är försvarbart att projektera elkraftförsörjning på detta vis. Vid tillverkningen av cellerna utnyttjas säkert en och annan kemikalie vars hantering kräver varsamhet och speciella kunskaper. Cellerna i sig är knappast vådliga att hantera och de spänningar som alstras är låga varför skötseln inte innebär några problem. De något större anläggningar som byggts hittills har i allmänhet varit mer av demonstrationsanläggningar än verkliga produktionsanläggningar.

## 6.9 Hydrogen

Detta är inte en primär energikälla utan endast en energibärare. Införandet av hydrogen löser inte det grundläggande problemet: hur vi skall förse oss med energi på ett miljövänligt sätt. De flesta större bilmärken förefaller ha presenterat konceptbilar. Vad man lyckats med förefaller vara att få förbränningsmotorn att gå på hydrogen, medan det svåra problemet (ödesfrågan) som att få med sig tillräckligt med bränsle för en rimlig körsträcka mellan tankningarna inte är löst. När man dessutom presenterar en riktig storbilslösning då blir frågan hur man analyserat och funderat på klimatfrågan och de problem vi står inför. Huvudfrågan vad gäller motortekniken gäller driftsäkerheten – hur länge kan en motor som drivs med vätgas tänkas hålla. Kostnaden för att bygga upp ett nytt infrastrukturnät parallellt med de befintliga kommer att bli synnerligen investeringstungt. Medan besparingar och effektiviseringar identifierats som synnerligen viktiga när det framtida energisystemet byggs upp så verkar den minst sagt tveksamma verkningensgraden när man går från elkraft till elkraft via hydrogen och bränsleceller, eller en modifierad förbränningsmotor, inte ha lett till några reflektioner.

Med tanke på det reservationslösa stöd som hydrogensamhället fått inom bland annat EU så kan det inte uteslutas att ytterligare betydande resurser kommer att avsättas innan spåret överges. Det förefaller osannolikt att hydrogen blir en betydelsefull energibärare inom de närmaste decennierna. Möjligen är det framsteg inom batteritekniken och därmed bättre prestanda för elbilar och elhybridbilar, plugghybrider, som slutligen kommer att göra att hydrogenspåret överges.

Tillverkning av hydrogen är inget tekniskt problem. Det sker storskaligt inom exempelvis raffinaderier och kemisk industri vid tillverkning av metanol och ammoniak. Det nya är att tillverkningen, för att vara meningsfull, inte får leda till utsläpp av koldioxid. Produktionen sker i dag i huvudsak från naturgas, men även från olja och kol, det vill säga med stora utsläpp av koldioxid. Distributionen av hydrogen är möjlig, men gasnätet saknas och tankbilsdistribution ineffektivt på grund av att hydrogen är så skrymmande. Brand och explosionsrisken med hydrogen är känd även om det kommer att krävas en hel del av tekniken liksom information för att ickeexperter – allmänheten - skall kunna hantera hydrogen på ett säkert sätt. De utsläppstyper som nämnts för biogas blir sannolikt riskablare vid vätgashantering.



Tabell 20. Kvalitativ syn på förändrade olycksrisker

Energisystem	Efterfrågan	Ev. ny olycksrisk	Ändrad risk	Komentarer
<b>Kol</b>	+/-	0	0	Oförändrad användning för järnmetallurgin
CO <sub>2</sub> sep./dep.	+?	+	+?	Ny teknik, omfattningen i Sverige oklar
<b>Naturgas, NG</b>	+	(+)	+	Ökad användning
LNG	+(?)	+	+	Eventuellt ökad användning
<b>Olja</b>	-	0	-	Minskad användning
Besin	-	0	-	Minskad användning
Diesel	-	0	-	Minskad användning
Eldningsolja	-	0	-	Minskad användning
Fordonsgas, LPG	-	0	-	Minskad användning
Fordonsgas, NG	+	(+)	+	Ökad användning
<b>Kärnkraft</b>	+	0	+	Sannolikt ökad användning, jfr Finland
<b>Vattenkraft</b>	+/-	0	0	I huvudsak färdigbyggd
<b>Biomassa, pellets</b>	+	+	+	Ökad användning
Bioetanol	+	(+)	+	Ökad användning
Biodiesel, FAME etc.	+	(+)	+	Ökad användning
<b>Biogas</b>	+	(+)	+	Ökad användning
Fordonsgas	+	(+)	+	Ökad användning
<b>Solvärme</b>	(+)	(+)	(+)	Sannolikt begränsad ökning
<b>Solceller</b>	(+)	(+)	(+)	Begränsad ökning pga sen utveckling
<b>Vindkraft</b>	+	0	+	Ökad användning
<b>Vågkraft</b>	(+)	(?)	(+)	Begränsad ökning pga sen utveckling
<b>Hydrogen</b>	(+?)	(+)	(+)	Löser inte huvudproblemet, dyrt, begr ökn.
<b>Övrigt</b>				

Den redovisade genomgången ovan sammanfattas i tabell 20 där ett försök gjorts att väga samman den förväntade efterfrågan för olika energikällor med mer eller mindre väl kända riskbilder. En energikälla som inte prövats i stor skala tidigare skall med säkerhet studeras extra noga. Pellets kan tjäna som exempel.

## 7. Slutsatser

Utvecklingen av ett energisystem som bygger på effektivare teknik och ett sparsammare beteende från vår sida står och faller med det framtida stöd som klimatfrågan får. Denna studie tar utgångspunkt i behovet av att minska koldioxidutsläppen och under de månader som arbetet pågått har kraven på ytterligare besparingar väckts. Det mål på 25 % reduktion av koldioxidutsläppen förefaller vara möjligt att nå utan drakoniska beslut. När krav på ytterligare besparingar väcks så skulle det betyda betydligt mer kännbara ingrepp i våra liv.

Det energisystem som skisserats i denna rapport innebär ett klart trendbrott – den ständiga ökningen av energiförbrukningen bryt till förmån för en mer reflekterande förbrukning där vi överväger var och till vad vi vill använda energin.

Trendbrottet innebär att de fossila petroleumprodukterna kommer att efterfrågas i minskad omfattning till förmån för förnybara produkter med ett undantag. Fossil naturgas kommer sannolikt att möta en ökad efterfrågan. I den mån naturgasen ersätter oljeprodukter så innebär det dock en väsentlig minskning av koldioxidutsläppen. Om en spridd biogasproduktion fortsätter att utvecklas så kan koldioxidutsläppen begränsas ytterligare. Det vore önskvärt att biogas och naturgas kan introduceras som fordonsgas, gärna med företräde för biogasen när och där den finns att tillgå. En avgörande faktor kommer att vara tillgänglighet och då kan naturgas vara en nyckel för att introduktionen av fordonsgas skall bli framgångsrik. Det kommer sannolikt att krävas incitament för att skynda på utvecklingen. Introduktionen av en ny energiteknik som metangas under högt tryck för fordonsdrift kräver att olyckstillbud analyseras på ett tillfredsställandesätt. Arbete måste då läggas ned på att höja kvalitén på insatsrapporter så att det går att dra viktiga slutsatser ur materialet.

Introduktionen av E85 kommer säkert att fortsätta och man får hoppas att tillgången kan möta efterfrågan. Biodiesalalternativen kommer sannolikt att konvergera mot ett huvudalternativ även om det kan marknadsföras under olika namn på känt vis. Nödvändigt för framgång är att produkterna är kompatibla samt att de kan kombineras med diesel i den mån biodiesel inte är tillgänglig. Det vore önskvärt att E85 och bensin respektive biodiesel och konventionell diesel var inbördes kompatibla, exempelvis genom avancerad motorstyrning.

Elförbrukningen kommer säkert att öka, inte minst för att luftvärmepumpar fortsätter att installeras som alternativ i villor som tidigare haft uppvärmning med direktverkande el. Elförbrukning kan även ses som en mätare på välstånd och bekvämlighet. Den växande elförbrukningen kommer sannolikt att mötas med investering i ytterligare kärnkraft av typen III:e generationens trycksatta kokareaktorer kännetecknade av ytterligare höjd säkerhet och med markant högre kapacitet än de reaktorer vi har i dag.

Risken för att kända olyckor skall inträffa är relaterat till hur förbrukningsvolymerna utvecklas. Genom tekniska insatser och informations- och utbildningskampanjer kan naturligtvis oacceptabla risker för och konsekvenser av olyckor pressas ned. Fallet med självantändning i ett pelletslager liksom den tragiska olyckan med koloxidförgiftning i anslutning till ett lastrum med pellets illustrerar på ett tydligt sätt hur vi överrumplas av fenomen som vi inte tänkt på. Ingen av olyckorna är i sig ny, men vi förväntade oss dem inte i detta sammanhang. I fallet med lastrummet kunde man ha vidtagit vissa försiktighetsåtgärder för att undvika exempelvis kvävning på grund av närvaro av koldioxid. Det är likaså symptomatiskt att olyckshändelserna av denna natur inte inträffar omedelbart när tekniken introduceras utan efter ett tag då verksamhetens omfattning vuxit och vissa rutiner (otillräckliga visar det sig) utvecklats och nyhetens speciella intresse och vaksamhet lagt sig.

Det finns således skäl att vara vaksam och noga följa utvecklingen när en teknik går från att vara ny och spännande och med intresserade experter deltagande till att bli daglig rutin. Storskalig användning av gas under högt tryck är säkert ett område som bör följas mycket noga. Hur säker är en ”säker” teknik när den använts och utsatts för förslitning efter några år? Storskalig introduktion av

litiumjonbatterier kommer att medföra att batterier skadas vid bilolyckor. Vilka blir konsekvenserna? Vi kommer sannolikt att få se allvarliga bränder då de lagrade energimängderna kommer att vara betydligt större i fallet med plugghybrider än dagen blybatteri om 70 Ah. Det sagda är inga argument mot utveckling utan en argumentation att "tänka efter före".

Det låter sig inte göras att förutse allt som möjligen kan inträffa, men utvärdering av tillbud av allehanda slag skulle kunna vara ett sätt att identifiera risken för olyckor tidigt och vidta möjliga motåtgärder. Avgörande är således att få in rapporter om tillbud så att en analys av dessa kan ske. Frågan om en databas för tillbud bör diskuteras då den skulle kunna vara en utmärkt utgångspunkt för förebyggande arbete.

## 8. Referenser

- 1 Energiläget i siffror 2006; Energimyndigheten, ET 2006:44
- 2 Energiläget 2006; Energimyndigheten, ET 2006:43
- 3 Långtidsprognos 2006, Energimyndigheten, ER 2007:2
- 4 World Energy Outlook, OECD/IEA 2006
- 5 Annual Energy Outlook 2007; With Projections to 2030, DOE/EIA-0383(2007), February 2007, [www.eia.doe.gov](http://www.eia.doe.gov)
- 6 Ett effektivt energisystem i samspel med omvärlden; Energimyndighetens projekt Vision 2050
- 7 Energy Policies of IEA Countries; 2006 Review, OECD/IEA 2006
- 8 Die 2000-Watt-Gesellschaft: Norm oder Wegweiser? Energie-Spiegel – Facts für die Energiepolitik von Morgen, nr 18/April 2007
- 9 Renewables information; 2006, OECD/IEA 2006
- 10 Building sustainable energy systems; Swedish experiences, Energimyndigheten, AB Svensk Byggtjänst, 2001 (ISBN 91-7332-961-4)
- 11 Hur trygg är vår energiförsörjning? En översiktlig analys av hot, risker och sårbarheter inom energisektorn år 2006, Energimyndigheten, ER 2007:06
- 12 New and emerging technologies – options for the future; Risø Energy Report 1, Risø National Laboratory, October 2002 (ISBN 87-550-3081-5)
- 13 Remarks at the launch of Energy Needs, Choices and Possibilities – Scenarios to 2050; Philip Watts, Chairman of the Committee of Managing Directors, Royal Dutch/Shell Group, N.Y., October 3, 2001
- 14 Shell Global Scenarios to 2025; The future business environment: trends, trade-offs and choices, (ISBN 0-88132-383-7)
- 15 New and emerging bioenergy technologies; Risø Energy Report 2, Risø National Laboratory, November 2003 (ISBN 87-550-3262-3)
- 16 The future Energy System – Distributed Production and Use; Risø Energy Report 4, Risø National Laboratory, October 2005 (ISBN 87-550-3472-5)

- 17 Managing transition – energy supplies in the early 21<sup>st</sup> century, Mark Moody-Stuart, Sanderstølen conference, Norway, February 4, 1998
- 18 Shell Technology Report; The power of innovation, January 2007, [www.shell.com/technology](http://www.shell.com/technology)
- 19 Ingeniørforeningens Energiplan 2030; Ingeniørforeningen i Danmark, 2007
- 20 Development of a General Scheme for Fuel Cycles and Life Cycles from all Energy Technologies as a Basis for the European Energy Risk Monitor (Ermon); Alessandra Colli, m.fl., energyrisks.jrc.nl, May 2005; European Commission, DG, Joint Research Centre, EUR 21735 EN
- 21 Svensk Bensinhandel, Ingvar Persson, VD, personlig kommunikation
- 22 Eco-Traffic, Peter Alvik, personlig kommunikation
- 23 Coal & Power Systems – Strategic and Multi-year Program Plans; Office of Fossil Energy, U.S. Department of Energy, March 2000
- 24 Can Coal be clean; Robin Sussingham, Chemistry.org, [www.chemistry.org](http://www.chemistry.org)
- 25 Coal, Wikipedia, the free encyclopedia, <http://en.wikipedia.org/wiki/Coal>
- 26 How Coal Gasification Power Plants Work
- 27 IPCC 2005 Special Report on Carbon dioxide Capture and Storage, Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)
- 28 The future Oceans – Warming up, Rising High, Turning Sour – Special Report, German Advisory Council on Global Change, Berlin 2006
- 29 World Proven Reserves of Oil and Natural gas – most recent estimates; [www.eia.doe.gov](http://www.eia.doe.gov)
- 30 Litteraturstudie Naturgas – Seminarieoppgift Energi och Miljö; Mats Forkman, Miljöeffekter och miljöstrategier, Industriell ekologi, KTH
- 31 Natural gas processing; Wikipedia, the free encyclopedia
- 32 Snøhvit en gigant I Barents Hav, Appendix G, [www.nog.se](http://www.nog.se)
- 33 ConocoPhillips Optimized Cascade Process; <http://inglicensing.conocophillips.com>
- 34 Turning Natural Gas to Liquid, Oilfield Review, Autumn 2003, 32

- 35 Gas to Liquids; Natural Gas Reforming, Fischer-Tropsch Conversion and Product Upgrading;  
[www.sasolchevron.com/technology.htm](http://www.sasolchevron.com/technology.htm)
- 36 Gas (Methane) Hydrates A New Frontier; Dr William Dillon, U.S. Geological Survey
- 37 3. Future Supply Potential of Natural Gas Hydrate; Natural Gas 1998: Issues and Trends
- 38 Methane Hydrates in Context – U.S.Natural Gas Overview; NCEP Staff Background Paper  
39 Oceanic Gas Hydrate Research and Activities Review Mineral Management Service, New  
Orleans 2006
- 40 A review of gas hydrates and formation evaluation of hydrate-bearing reservoir
- 41 Athabasca Oil Sands; Wikipedia, the free encyclopedia,  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Athabasca\\_Tar\\_Sands](http://en.wikipedia.org/wiki/Athabasca_Tar_Sands)
- 42 Nuclear power for the future; Enhanced safety, improved economics, and simpler designs are  
the keynotes of the next generations of nuclear energy systems, Michael Freemantle, Chemical  
& Engineering News 82 No. 37 (2004, sept. 13)p. 31
- 43 Nuclear Power- Poised for Rebirth; Cynthia Washam, Chemistry.org, [www.chemistry.org](http://www.chemistry.org)
- 44 E.ON plans nuclear power plant in Finland; Energyforum April 17, 2007 (Montel Power  
news), [www.energyforum.com](http://www.energyforum.com)
- 45 Finland pionjär inom kärnkraft; Knud Arild Kjesbu, Econ, ERA 10-2006
- 46 Framtidens kärnkraft – Utbyggnad i Finland; dokumentation av seminarium på KVA  
måndagen 15 maj 2006
- 47 ITER; Wikipedia, <http://sv.wikipedia.org/wiki/ITER>
- 48 Biobränsle – efter Oljekommissionen; Sammanfattning av seminarium den 6 november på  
Kungl. Vetenskapsakademien (KVA), Stockholm, KVA:s energiutskott, KVA:s  
miljökommitté och Kungl. Skogs- och Lantbruksakademien.
- 49 Om energi, hälsa och miljö – Energiförsörjningens konsekvenser; Akademien anser nr 1 2002  
50 Biomass Program – Energy efficiency and Renewable Energy; U.S. Department of Energy
- 51 Gasification of Black Liquor, [www.chemrec.se](http://www.chemrec.se)

- 52 A Cost-Benefit Assessment of Black Liquor Gasifier/Combined Cycle Technology Integrated into a Kraft Pulp Mill; Larsson, E.D. et al., Proc. 1998 Int'l Chem Recovery Conf., June 1-4 1998, Tampa, USA, Tappi Press pp. 1-18 (1998)
- 53 Chemrec Black Liquor Gasification, Proc. 1998 Int'l Chem Recovery Conf., June 1-4 1998, Tampa, USA, TAPPI Press pp. 663-674 (1998)
- 54 Wells-to-wheels analys av framtida drivmedel och drivlinor i ett europeiskt sammanhang – En sammanfattning; En gemensam studie av EUCAR/JRC/CONCAWE, Svenska Petroleum Institutet 2006
- 55 Renewable energy for power and transport; Risø Energy Report 5, Risø National Laboratory, November 2005 (ISBN 87-550-3515-9)
- 56 Environmental, economic, and energetic costs and benefits of biodiesel and ethanol biofuels; Jason Hill, m.fl., Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America PNAS, 103, no 30, July 25 2006, 11206; [www.pnas.org](http://www.pnas.org)
- 57 AMFI Newsletter, Advanced Motor Fuels Information, January 2007, no 1, [www.iea-amf.vtt.fi](http://www.iea-amf.vtt.fi)
- 58 Sustainable fuel for the transportation sector; Rakesh Agrawal, m.fl, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, PNAS 104, no 12, March 20 2007; 104; 4828; [www.pnas.org](http://www.pnas.org)
- 59 World Biofuels Markets Report; [www.greenpowerconferences.com](http://www.greenpowerconferences.com)
- 60 The Energy Balance of Corn Ethanol: An update; Hosein Shapouri, m.fl., USDA, AER-814
- 61 Estimating the Net Energy Balance of Corn Ethanol – An Economic Research Service Report; Hosein Shapouri, mfl., USDA, [www.ethanol-gec.org/corn\\_eth.htm](http://www.ethanol-gec.org/corn_eth.htm)
- 62 Updated Energy and Greenhouse Gas Emissions Results of Fuel Ethanol, Michael Wang, center for Transportation Research, Energy Systems Division, Argonne National Laboratory, The 15<sup>th</sup> International Symposium on Alcohol Fuels, San Diego, CA September 26-28 2005
- 63 Odlå vete till etanol, Ingemar Gruveaus, Hushållningssällskapet Skaraborg, Växtpressen 35, no 2 September 2006, 6
- 64 En gigantisk felsatsning – Björn Gillberg till attack mot etanolet; Helen Ahlbom, Ny Teknik, 14 mars 2007, no 11, 4-5
- 65 Säkerhetsaspekter med E85 som drivmedel; Bengt Sävmark, m.fl. för Miljöbilar i Stockholm, Miljöförvaltningen, Stockholm, Oktober 2006

- 66 Biodiesel, Wikipedia, the free encyclopedia, <http://en.wikipedia.org/wiki/Biodiesel>
- 67 Biodiesel – Running vehicles successfully on biodiesel;  
<http://www.biodiesel.org/markets/gen/>
- 68 Life Cycle Inventory of Biodiesel and Petroleum Diesel for Use in an Urban Bus; John Sheedhan, mfl, USDA and USDOE, NREL/SR-580-24089 UC Category 1503
- 69 Dålig koll på dammen; Sven L-O Johansson, Värmlands Folkblad, 2007-02-20
- 70 Wind Power Today, Energy Efficiency and Renewable Energy, U.S. Department of Energy
- 71 Solar Solutions; Barbara Maynard, Chemistry.org, <http://www.chemistry.org>
- 72 Concentrating Solar Power in 2001 – An IEA/Solar PACES Summary of Present Status and Future Prospects
- 73 Solar Energy Technologies Program; Energy Efficiency and Renewable Energy, U.S. Department of Energy
- 74 Hydrogen and its competitors; Risø Energy Report 3, Risø National Laboratory, October 2004 (ISBN 87-550-3349-0)
- 75 The Future of the Hydrogen Economy: Bright or Bleak?; Ulf Bossel mfl.2003 Fuel Cell Seminar, [www.efcf.com/reports](http://www.efcf.com/reports)
- 76 Biennial Report on Hydrogen Safety; Hydrogen Technologies, mm; Thomas Jordan, [www.hysafe.org](http://www.hysafe.org)
- 77 Hydrogen – Overview of some research programmes
- 78 CUTE – Clean Urban Transport for Europe; A Hydrogen Fuel Cell Bus Project in Europe 2001 – 2006
- 79 World Energy Outlook – 2050, WETO-H2, European Commission, Community Research
- 80 European Hydrogen and Fuel Cell projects; Sixth Framework Programme, Project synopses European Commission, Community Research, 2004
- 81 Hydrogen Energy and Fuel Cells – A vision of our future; High Level Group for Hydrogen and Fuel Cells, European Commission, Community Research, 2003
- 82 Severe Accidents in the Energy Sector; First edition; Stefan Hirschberg m.fl., Project GaBE, Comprehensive Assessment of Energy Systems; PSI Bericht Nr. 98-16, November 1998



- 83 Severe Accidents in the Energy Sector; Bruno Porro, Ivo Menzinger, Energie-Spiegel No.13, May 2005  
5
- 84 Severe Accidents in the Energy Sector: Comparative perspective; Stefan Hirschberg, mfl. Journal of Hazardous Materials vol. 111, issues 1-3, 26 July 2004, 57-65
- 85 Safety & Security of Energy Infrastructures in a Comparative View (SEIF-CV), Joint Research Centre, European Commission, 22 March 2006
- 86 ENSAD – Energy-Related Severe Accident Database; Paul Scherrer Institut, Villigen Schweiz, [www.psi.ch](http://www.psi.ch)
- 87 Risk assessment of hydrogen refuelling station concepts based on onsite production; Sandra Nielsen, mfl. (Topic 5: Cross cutting themes – Safety)
- 88 Safety aspects of land-use planning scenarios for a future infra structure with hydrogen re-fuelling stations; F. Markert, mfl. Systems Analysis Department, Risø National Laboratory, Denmark
- 89 Comparison of the hazard potential between ammonia and other hydrogen sources for application in fuelcells. Risø National Laboratory, Roskilde, March 2005, Risø-R-1504(EN) Annex A
- 90 Comparative Assessment of Severe Accidents in the Chinese Energy Sector; China Energy Technology Program, Stefan Hirschberg et al., PSI Bericht Nr. 03-04, March 2003
- 91 Severe Accidents in the Energy Sector. Energie-Spiegel – Facts for the Energy decisions of tomorrow, nr 13 / May 2005
- 92 Comprehensive Assessment of Natural Gas Accident Risks; Peter Burgherr, Stefan Hirschberg, PSI Bericht 05-01, January 2005
- 93 Framtidsorienterad riskbild – Inriktning 2015 – beredskap för radiologiska och nukleära nödsituationer; Henrik Persson, mfl., Copenhagen Institute for Futures Studies; för Statens Räddningsverk; ARBETSMATERIAL, 2007
- 94 Perspektiv på energisäkerhet; Annika Carlsson-Kayama, m.fl. FOI, Försvarsanalys, FOI-R-2250-SE, May 2007
- 95 New Elements for the Assessment of External Costs from Energy Technologies; Final Report to the European Commission, DG Research, Technological Development and Demonstration (RTD), EC 5<sup>th</sup> Framework Programme (1998-2002), September 2004, Contract no. ENG1-CT2000-00129

- 96 New Elements for the Assessment of External Costs from Energy Technologies; Publishable Report to the European Commission, DG Research, Technological Development and Demonstration (RTD), EC 5<sup>th</sup> Framework Programme (1998-2002), September 2004, Contract no. ENG1-CT2000-00129
- 97 Accident Risks in the Energy Sector: Comparison of Damage Indicators and External Costs, Stefan Hirschberg, et al., Paul Scherrer Institut, Schweiz and Alistair Hunt et al. University of Bath, Storbritannien.
- 98 In depth analysis of accidental oil spills from tankers in the context of global spills trends from all sources; Peter Burgherr, Journal of Hazardous Materials 140 (2007) 245-256
- 99 Severe accidents in the energy sector: comparative perspective; Stefan Hirschberg, et al., Journal of Hazardous Materials 111 (2004) 57-63
- 100 Severe Accidents in Fossil Energy Chains: Individual Chain Results and Aggregated Evaluations; Peter Burgherr, Stefan Hirschberg, Paul Scherrer Institut
- 101 Technology Assessment/GaBE, Risk Assessment; <http://gabe.web.psi.ch/research/ra/20070604>
- 102 Clean Energy for China. Energie-Spiegel – Facts for the Energy decisions of tomorrow, nr 17 / November 2006
- 103 Wood-A versatile, renewable energy resource. Energie-Spiegel – Facts for the Energy decisions of tomorrow, nr 16/April 2006
- 104 CO<sub>2</sub>-free Electricity for Switzerland – New Nuclear Technologies. Energie-Spiegel – Facts for the Energy decisions of tomorrow, nr 15/November 2005
- 105 Outlook for CO<sub>2</sub>-free electricity in Switzerland – New renewable energy sources. Energie-Spiegel – Facts for the Energy decisions of tomorrow, nr 14/October 2005
- 106 Hopes on Hydrogen: No Quick Fixes. Energie-Spiegel – Facts for the Energy decisions of tomorrow, nr 12/November 2004
- 107 Order in the Eco-Inventory Jungle; Energie-Spiegel – Facts for the Energy decisions of tomorrow, nr 11/June 2004
- 108 Batteries in a portable world, Battery Chemistries; [www.buchmann.ca](http://www.buchmann.ca)
- 109 Energy density; [http:// en.wikipedia.org/wiki/Energy\\_density](http://en.wikipedia.org/wiki/Energy_density)
- 110 High-Energy-Density Rechargeable Ion Batteries; AFRL's Propulsion Directorate, Power Division, Energy Storage and Thermal Sciences, Patterson AFB, OH; <http://www.afrlhorizons.com/Briefs/Feb04/PRO306.html>

- 111 PowerPedia: Lithium Ion Batteries;  
[http://peswiki.com/index.php/Directory:Lithium\\_Ion\\_Batteries](http://peswiki.com/index.php/Directory:Lithium_Ion_Batteries)
- 112 Teknisk Prognos för teknikområdet Strömförsörjning; Försvarets materielverk, FMV, 115 88 Stockholm, [www.fmv.se](http://www.fmv.se)
- 113 Risk Assessment in the Energy Sector JRC Information Day and S&T Workshops 28 April 2006; Christian Kirchsteiger, European Commission, DG JRC – Institute for Energy, Petten Netherlands
- 114 Methodology for the Comparison of Risk Assessment Results from Different Energy Systems, A. Colli, C. Kirchsteiger, et al., EC DG Joint Research Centre, Nuclear Safety Unit, Petten, Netherlands
- 115 Hydrogen as an energy carrier; Royal Belgian Academy Council of Applied Science, April 2006
- 116 Needing a Hydrogen Breakthrough; D.Thorn, et al., <http://www.federallabs.org/news>
- 117 The Truth About Hydrogen; Jeff Wise, Popular Mechanics, November 2006, [www.popularmechanics.com](http://www.popularmechanics.com)
- 118 Hydrogen and fuel cells: towards a sustainable energy future; Peter P. Edwards, et al., [www.foresight.gov.uk/Horizon\\_Scanning\\_Centre/energy/pdf/hydrogen\\_and\\_fuel\\_cells\\_towards\\_a\\_sustainable\\_future.pdf](http://www.foresight.gov.uk/Horizon_Scanning_Centre/energy/pdf/hydrogen_and_fuel_cells_towards_a_sustainable_future.pdf)
- 119 Vätgassamhället – ett steg mot ett hållbart energisystem?; Maria Saxe, Energiprocesser, Kungliga Tekniska Högskolan, Stockholm
- 120 Hydrogen on Demand – Typical System Schematic; [http://globals.federallabs.org/images/0307-02\\_lg.jpg](http://globals.federallabs.org/images/0307-02_lg.jpg)
- 121 Biofuels for Transport; The action of the European Commission in the field of Biofuels, European Policy in the field of Biofuels; Antonio Tricas Aizpún, European Commission, Directorate-General for Energy and Transport
- 122 Energy Market and Economic Impacts of a Proposal to Reduce Greenhouse Gas Intensity with a Cap and Trade System; Energy Information Administration, Office of Integrated Analysis and Forecasting, U.S.Department of Energy, Washington D.C. January 2007
- 123 Bio Gasmax; EU:s demonstrationsprojekt om biogas till fordonsdrift; [www.businessregion.se](http://www.businessregion.se)
- 124 Biogas ger 60000 jobb I hela landet – Svenska kommunpolitiker tror på biogas; [www.gasforeningen.se](http://www.gasforeningen.se)

- 125 Utvärdering av uppgraderingstekniker för biogas; Margareta Persson, Lunds Tekniska Högskola, Svenskt Gastekniskt Center, November 2003, Rapport SGC 142, [www.sgc.se](http://www.sgc.se)
- 126 Coal: Liquid Fuels; World Coal Institute, [www.worldcoal.org](http://www.worldcoal.org)
- 127 Combat Climate Change, CCC; Arne Mogren, [www.vattenfall.com/climatemap](http://www.vattenfall.com/climatemap)
- 128 Ur databasen Insatsrapporter från kommunala Räddningstjänsten; Colin McIntyre, Räddningsverket



**Räddningsverket, 651 80 Karlstad**  
**Telefon 054-13 50 00, fax 054-13 56 00. [www.raddningsverket.se](http://www.raddningsverket.se)**

Beställningsnummer I99-161/07. Fax 054-13 56 05

ISBN 978-91-7253-351-6