

FOI är en huvudsakligen uppdragsfinansierad myndighet under Försvarsdepartementet. Kärnverksamheten är forskning, metod- och teknikutveckling till nytta för försvar och säkerhet. Organisationen har cirka 1000 anställda varav ungefär 800 är forskare. Detta gör organisationen till Sveriges största forskningsinstitut. FOI ger kunderna tillgång till ledande expertis inom ett stort antal tillämpningsområden såsom säkerhetspolitiska studier och analyser inom försvar och säkerhet, bedömning av olika typer av hot, system för ledning och hantering av kriser, skydd mot och hantering av farliga ämnen, IT-säkerhet och nya sensorers möjligheter.



Bengt Johansson och Daniel K. Jonsson

# Transportsektorns energiförsörjning

En utblick med ett europeiskt perspektiv

Omslagsbild: Bengt Olof Olsson, Scanpix

Titel	Transportsektorns energiförsörjning. En utblick med ett europeiskt perspektiv.
Title	Transport energy supply. An outlook with a european perspective
Rapportnr/Report no	FOI-R--2724--SE
Rapporttyp Report Type	Användarrapport User report
Månad/Month	Mars
Utgivningsår/Year	2009
Antal sidor/Pages	59 p
ISSN	ISSN 1650-1942
Kund/Customer	SIKA
Forskningsområde Programme area	1. Analys av säkerhet och sårbarhet 1. Security, safety and vulnerability analysis
Delområde Subcategory	19 Breda projekt inom säkerhet och sårbarhet 19 Interdisciplinary Projects regarding Security, Safety and Vulnerability Analysis
Projektnr/Project no	E15911
Godkänd av/Approved by	Maria Lignell Jakobsson
FOI, Totalförsvarets Forskningsinstitut Avdelningen för<Försvarsanalys	FOI, Swedish Defence Research Agency Division of Defence Analysis
164 90 Stockholm	SE-164 90 Stockholm

## Sammanfattning

Inom EU står för närvarande klimatfrågan tillsammans med energisäkerhet och konkurrenskraft i centrum för energipolitiken. Energiförsörjningen domineras idag av fossila bränslen. Denna situation är ännu mer accentuerad i transportsektorn. I det energi- och klimatpaket som beslutades under hösten 2008 finns flera delar som kommer att påverka transportsektorns energiförsörjning.

Business-as-usual scenarier visar på en ökad energianvändning i EU:s transportsektor under de närmaste decennierna. Flygets andel av transportsektorns energianvändning och utsläpp av koldioxid bedöms öka. I scenarierna bedöms andelen biodrivmedel öka till i storleksordningen 7-10% av det totala energibehovet i transportsektorn. I policyscenarier som antar åtgärder för att minska utsläppen och öka användningen av förnybar energi ökar denna andel till storleksordningen 10-20%. Oljeprodukter kommer i de flesta av de studerade scenarierna vara helt dominerande för transportsektorns energiförsörjning fram till 2030. Först fram emot 2050 och därefter får alternativa drivmedel en dominerande position.

Fyra utvecklingsvägar för transportsektorns energiförsörjning diskuteras i denna rapport (fossila drivmedel, biodrivmedel, vätgas, el). Det finns klara likheter främst mellan system för biodrivmedel och dagens system med flytande fossila drivmedel och mellan vätgas- och elsystemet. Biodrivmedel och fossila drivmedel kan utnyttja befintlig fordonsteknik och existerande distributionssystem. Medan användningen av fossila drivmedel på sikt försvåras av klimatrestriktioner finns resursmässiga restriktioner för användningen av biodrivmedel. Vätgas och el uppvisar båda stor flexibilitet vad gäller möjlig försörjning med energibärare med låga eller till och med negativa utsläpp av koldioxid sett över hela drivmedelskedjan men möjligheterna till lagring av energibärarna i fordonen är sämre än för de fossila drivmedlen och biodrivmedlen. Även om det finns stora likheter mellan system baserade på elfordon och system baserade på vätgasfordon finns en avgörande skillnad i och med att ett välutvecklat distributionsystem redan existerar för elfordon.

En begränsning av energianvändningen är grundläggande för att skapa en robust och uthållig energiförsörjning. Det finns bl a fortfarande stora potentialer att reducera fordonens specifika energianvändning (MJ/km) med tekniska åtgärder.

Omställningen av transportsektorns energiförsörjning är en långsiktig process vilket de scenarier som beskrivits i denna rapport visar. Ett grundläggande beslutsproblem är de fundamentala osäkerheter som finns om framtida teknikutveckling. Dessa osäkerheter och de långa tidsperspektiv som måste hanteras kommer att ställa stora krav på politiska beslutsfattare eftersom de både måste se till att långsiktiga investeringar kommer till stånd och att tillräcklig flexibilitet bibehålls för att hantera de osäkerheter som finns kring olika energiförsörjningslösningar.

Nyckelord: Energiförsörjning , transporter, scenarier, driv medel

## Summary

Climate change, energy security and competitiveness are prime priorities within EU energy policy. Energy supply is today dominated by fossil fuels and renewable energy only contributes with a limited amount. This situation is even more accentuated within the transport sector. In the climate and energy package, decided in December 2008, there are several parts that will affect transport energy supply.

Existing business-as-usual scenarios indicate an increased energy use within the EU transport sector during the next decades. The fraction of transportation energy used for aviation is expected to increase. In the scenarios, biofuels are expected to increase to 7-10% of total energy demand within the transportation sector. In policy scenarios, assuming actions to reduce emissions and increase the use of renewable energy this fraction will increase to 10-20% of total transportation fuel use. Petroleum products will in most of the studied scenarios continue to dominate transport energy supply until 2030. Alternative transportation fuels will not dominate transport fuel before 2050.

Four development paths for transport energy supply are discussed in this report (fossil fuels, biofuels, hydrogen and electricity). Similarities exist especially between systems based on liquid fossil fuels and systems based on biofuels, and between systems based on hydrogen and electricity.

Biofuels and fossil can utilise existing vehicle technologies and systems for fuel distribution. The use of fossil fuels is restricted due to its impact on climate change whereas there are limitations in the natural resources available for biofuel production. Hydrogen and electricity could be produced from a variety of energy resources and used with low or even negative CO<sub>2</sub> emissions seen over the total life-cycle. Heavy and costly storage of the fuels is, however, a negative aspect for these fuels compared to liquid fossil fuels and biofuels. Even though the hydrogen and electricity systems have many similarities there is a significant difference in the fact that there already exists a well-developed distribution system for electricity.

Energy demand reductions are central for obtaining a robust and environmentally acceptable energy supply for the transport sector. There still exist large potentials for reducing the specific energy consumption (MJ/km) of motor vehicles with technical measures.

The scenarios studied in this report show that the transition to new transport fuel systems will take a long time. A fundamental decision problem for this transition will be the major uncertainties regarding future technology development. These uncertainties and the long time perspectives involved will require much from the decision makers as they will have to decide on long-term investments while preserving enough flexibility to handle the existing uncertainties around different energy supply solutions.

Keywords: Energy supply, transportation, scenarios, transportation fuels

## Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>Inledning.....</b>	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>EU:s energi- och klimatpolitik.....</b>	<b>11</b>
2.1	Energiförsörjningen i EU .....	12
2.2	EU:s klimat- och energistrategi .....	13
<b>3</b>	<b>Transportsektorns energiförsörjning i ett urval scenarier .....</b>	<b>15</b>
3.1	Energiscenarier från IEA .....	16
3.2	European Energy and Transport.....	22
3.3	Några andra relevanta scenarier från forskningslitteraturen.....	24
3.4	Energimyndighetens långsiktsprognoser .....	28
3.5	Några sammanfattande slutsatser om scenarierna .....	30
<b>4</b>	<b>Möjliga utvecklingsvägar för transportsektorns energiförsörjning.....</b>	<b>32</b>
4.1	Fossilbaserade drivmedel .....	32
4.2	Storskalig expansion av biodrivmedel.....	34
4.3	Vätgassystem.....	37
4.4	Elektrifiering av transportsystemet .....	41
4.5	Likheter och skillnader mellan systemen .....	44
<b>5</b>	<b>Möjliga åtgärder för att begränsa energianvändningsnivån i transportsektorn.....</b>	<b>46</b>
5.1	Tekniska förbättringar och byte till effektivare fordon .....	47
5.2	Optimerat användande av befintlig teknik, samt byte av transportmedel .....	48
5.3	Minskad transportvolym men bibehållen tillgänglighet och nytta.....	49
5.4	Några ytterligare aspekter kring minskad energianvändning.....	49
<b>6</b>	<b>Avslutande diskussion .....</b>	<b>51</b>
	<b>Referenser .....</b>	<b>54</b>



# 1 Inledning

Transportsektorn är beroende av tillgången på en trygg och miljömässigt acceptabel energiförsörjning. Nuvarande transportsystem bygger på en god tillgång på fossila bränslen och är i dagsläget nästan helt beroende av petroleum-baserade bränslen. I framtiden är det rimligt att anta att tillgången på billig olja kommer att vara begränsad. Efterfrågan från växande ekonomier i framförallt Asien ökar samtidigt som tillgången på konventionella oljeresurser är begränsad. Icke-konventionella oljeresurser kan få en ökad betydelse men med negativa miljöeffekter och ökade kostnader som följd.

Klimatfrågan pekar på ett behov av att kraftigt minska användningen av fossila bränslen. EU:s ambition är att klimatpåverkan globalt ska begränsas till en maximal temperaturhöjning om 2°C jämfört med förindustriell nivå (ofta benämnt tvågradersmålet).<sup>1</sup> Detta kommer att leda till krav på kraftigt reducerade utsläpp framför allt i de industrialiserade länderna. Enligt regeringens vetenskapliga råd för klimatfrågor<sup>2</sup> behöver utsläppen av växthusgaser i industriländerna minska med 25-45% till 2020 och 70-95% till 2050 jämfört med 1990 för att med relativt hög sannolikhet vara förenlig med tvågradersmålet.<sup>3</sup> För Sverige som i utgångsläget har lägre utsläpp per capita än genomsnittet för industriländerna bedöms motsvarande nödvändiga utsläppsminskningar vara 20-25% till 2020 och 70-85% till 2050 jämfört med 1990 års nivå. I dagsläget är transportsektorn ett sorgebarn genom att utsläppen av växthusgaser fortsätter att öka både i Sverige och i EU som helhet.

De kraftiga krav på utsläppsminskningar som kommer att ställas kommer naturligtvis att påverka transportsektorn i betydande omfattning. I vilken grad transportsektorn ska bidra till utsläppsminskningarna och när dessa minskningar ska påbörjas är dock inte självklart. Fördelningen av utsläppsminskningarna mellan olika sektorer i samhället kan bero på befintliga tekniska lösningar och deras respektive kostnadseffektivitet, men även på hur nya tekniska lösningar kan drivas på genom riktade satsningar inom olika sektorer. En annan viktig faktor som kan påverka valet av strategi är transportsektorns totala beroende av oljeprodukter vilket kan vara särskilt problematiskt ifall tillgången på billig petroleum minskar i framtiden. En viktig faktor att beakta är den inneboende tröghet som finns i energi- och transportsystemen vilket kan motivera att påbörja en omställning nu, även om ett tydligt genomslag kommer att visa sig först

---

<sup>1</sup> See text Council of the European Union (2007).

<sup>2</sup> Vetenskapliga rådet för klimatfrågor (2007).

<sup>3</sup> Utsläppsminskningarna är baserade på en utveckling som är förenlig med en långsiktigt stabiliseringsnivå för koncentrationen av växthusgaser motsvarande 400 ppm koldioxidkvivalenter vilket enligt vetenskapliga rådet är vad som krävs för att tvågradersmålet sannolikt ska klaras. Rådet utgår från sannolikhetsdefinitionerna i IPCC där begreppet sannolikt motsvarar en säkerhet om 66-90%.

längre fram i tiden. Trögheten i systemen beror bland annat av att mycket kapital är bundet i befintlig infrastruktur och att systemen stöds av etablerade institutioner etc.<sup>4</sup>

Det finns ingen ensam lösning för att klara den framtida energiförsörjningen i Europa, utan nycklarna till en hållbar energiförsörjning får sökas på flera håll. Sannolikt består lösningarna för transportsektorn av en kombination av åtgärder som återfinns inom områdena ny energieffektiv teknik, ökad tillförsel av icke-fossil energi och påverkan på transporternas genomförande och omfattning, genom bland annat förbättrad logistik, transporteffektiva stadsstrukturer etc. Avskiljning och deponering av koldioxid (CCS) kan också spela en viktig roll.<sup>5</sup>

Idag dominerar förbränningsmotorer (diesel- och ottomotorer) som drivkälla för vägfordon. Ett ökat intresse för hybridfordon, där förbränningsmotorn kombineras med ett elektriskt drivsystem, har i viss grad börjat märkas på fordonsmarknaden. I de flesta av dessa tas energin helt från medfört bränsle men stora förhoppningar finns att plug-in-hybrider<sup>6</sup>, som tar en stor del av energin från elnätet, ska ta en betydande del av marknaden. Vägfordon med enbart eldrift finns också på marknaden men på grund av kort räckvidd fungerar de idag bäst i olika nischapplikationer. För framtiden finns också förhoppningen att nya drivsystem som bränsleceller<sup>7</sup> ska komma till användning i elfordon men tekniken är fortfarande inte kommersiellt tillgänglig.

Det är osannolikt att en omvandling av transportsektorns energiförsörjning kommer att uppstå av sig själv utan den kommer att kräva kraftfulla politiska initiativ. Ett globalt avtal för tiden som följer efter Kyotoperioden 2008-2012 kommer att vara ett viktigt ramverk för att en koldioxidsnål energiförsörjning ska kunna utvecklas. Det gäller inte minst för att påverka fordonsindustrin som verkar på en global marknad. EU:s klimat- och energipaket kommer mer konkret bidra till att sätta ramarna för energiutvecklingen i Europa fram till år 2020 och det finns även kommande direktiv som mer specifikt riktar in sig på att påverka fordons energianvändning. Nationella initiativ inom bland annat energiskatteområdet har i sin tur bidragit till en ökad användning av förnybara drivmedel, i Sverige särskilt etanol.

---

<sup>4</sup> Se t ex Hughes (1987) och Kajser (1994).

<sup>5</sup> CCS är en teknik där koldioxid avskiljs ur rökgaser från förbränning av fossila bränslen eller biomassa eller från syntesgaser som bildas vid förgasning av kolväten. Därefter transporteras koldioxiden till lämpliga lagringsplatsen där den deponeras. Exempel på potentiellt lämpliga lagringsplatser är t ex tömda olje- och naturgasreservoarer, akvifärer och i oceanerna (se t ex IPCC, 2005).

<sup>6</sup> Ibland kallade laddhybrider.

<sup>7</sup> En bränslecell omvandlar direkt kemisk energi till elektrisk energi. Det vanligaste bränslet är vätgas som enklast kan sonderdelas elektrokemiskt.

Transportsektorns totala beroende av petroleumprodukter gör energiförsörjningen beroende av utvecklingen på oljemarknaden. Oljepriserna påverkar i betydande grad lönsamheten för olika alternativa bränslen och teknik för energieffektiva fordon. Här har priserna svängt kraftigt under senare år med toppnoteringar över 140 dollar/fat under sommaren 2008 som därefter har sjunkit till drygt 40 dollar/fat i början av 2009.<sup>8</sup> International Energy Agencys (IEA:s) långtidsprognoser för priset på olja har 2008 justerats upp kraftigt jämfört med 2007 vilket får betydelse för bedömningar om olika åtgärders lönsamhet. Kopplingar finns även mellan energiförsörjning och andra marknader där relationen mellan ökad efterfrågan på etanol och livsmedelsförsörjningen varit synlig i debatten under 2008.<sup>9</sup>

Syftet med denna rapport är att ge en översiktlig bild om förväntade och möjliga utvecklingsvägar för transportsektorns energiförsörjning. Tidsperspektivet som behandlas är relativt långt med fokus på utvecklingen till och bortom 2030. Rapporten består av fyra delar. Först ges en kortfattad beskrivning av EU:s energi- och klimatpolitik. Därefter görs en genomgång av ett urval studier som behandlar energiförsörjningen i Europa och globalt där fokus ligger på hur transportsektorns energiförsörjning kan tänkas utvecklas. Vidare diskuteras, främst kvalitativt, ett antal möjliga utvecklingsvägar av transportsektorns energiförsörjning, förutsättningarna för dessa utvecklingsvägars realiserande samt hur dessa utvecklingsvägar kan passa ihop med en klimatpolitik förenlig med EU:s uppsatta tvågradersmål. Avslutningsvis diskuteras kortfattat möjliga åtgärder för att minska transporternas energianvändning.

---

<sup>8</sup> SPI (2009).

<sup>9</sup> En sammanfattning av diskussionen kring detta frågekomplex återfinns i Börjesson m.fl. (2008).

## 2 EU:s energi- och klimatpolitik

Inom EU står för närvarande klimatfrågan tillsammans med energisäkerhet och konkurrenskraft i centrum för energipolitiken. Energiförsörjningen domineras idag av fossila bränslen och förnybar energi svarar endast för en begränsad del. Denna situation är ännu mer accentuerad i transportsektorn. I det energi- och klimatpaket som beslutades under hösten 2008 finns flera delar som kommer att påverka transportsektorns energiförsörjning. Det krympande utsläppsutrymme som beslutats kommer att sätta press på minskade utsläpp i samtliga sektorer inklusive transportsektorn. I direktivet om förnybar energi ställs krav på att 10% av drivmedelsanvändningen ska baseras på förnybar energi. Vid sidan av paketet har det beslutats om bindande krav på ökad energieffektivitet i nya bilar.

EU:s energi- och miljöpolitik tar sin utgångspunkt i tre olika huvudmålsättningar för energisektorn nämligen hållbarhet, konkurrenskraft och energisäkerhet (security of supply).<sup>10</sup> Under den första punkten står klimatfrågan tydligt i centrum vilket har genomslag i de förslag som lagts fram under de senaste två åren. Ända sedan 1990-talet har också avreglering av energimarknaderna varit en viktig fråga för att öka konkurrensen och effektiviteten på energimarknaderna. Viktiga milstolpar för EU:s arbete med energisäkerhet har varit kommissionens grönbok om energisäkerhet<sup>11</sup> från år 2000 och kommissionens andra strategiska energiöversyn från 2008.<sup>12</sup>

Parallellt med de EU-gemensamma processerna har flera enskilda medlemsstater utvecklat egna klimatstrategier och styrmedel med betydelse för energiförsörjningen i länderna. Det finns flera styrmedel för vilka de enskilda länderna har huvudsaklig rådighet. Det gäller inte minst beskattningen där flera länder aktivt använt sig av energi- och koldioxidskatter för att påverka energisystemet i önskad riktning.<sup>13</sup> Det har också visat sig att EU-direktiv i sig ofta inte är tillräckliga för att leda till förändringar utan fordrar stöd av nationella initiativ och engagemang. Till exempel bedöms de krav som ställs i det direktiv om biodrivmedel som infördes 2003 endast bli uppfyllt av ett begränsat antal medlemsländer.<sup>14</sup>

<sup>10</sup> Commission of the European Communities (2008a).

<sup>11</sup> Commission of the European Communities (2000).

<sup>12</sup> Commission of the European Communities (2008a).

<sup>13</sup> Genom minimiskattedirektivet (2003/96/EC) från år 2003 finns nedre gränser för skattenivån på bränsle och el. I Sverige överskrids dessa nivåer i de flesta fall avsevärt.

<sup>14</sup> Se t ex DiLucia och Nilsson (2007).

## 2.1 Energiförsörjningen i EU

Energiförsörjningen inom EU domineras av fossila bränslen. Dessa svarade år 2005 för 79 % av primärenergianvändningen. Den andel av primärenergianvändningen som baserades på förnybar energi var cirka 7 %, medan kärnkraft svarade för återstoden (14 %). Andelen förnybar energi kan jämföras med motsvarande andel i Sverige som var cirka 30 %.<sup>15</sup>

I aktuella direktiv om ökad mängd förnybar energi utgår man oftast från slutlig användning som begrepp. Som andel av den slutliga användningen svarade förnybar energi inom EU för 8,6 % år 2005.<sup>16</sup> För Sverige var motsvarande andel nästan 40 %. Den huvudsakliga orsaken till den stora skillnaden för Sverige mellan om man räknar som andel av primärenergianvändning eller som andel av slutlig energianvändning är energiförlusterna i kärnkraftverken. En stor skillnad mellan EU och Sverige är att elproduktionssystemet i Sverige är nästan fossilbränslefritt medan fossila bränslen svarar för nästan 55 % av elproduktionen i EU.<sup>17</sup>

Transportsektorns andel av den slutliga energianvändningen var 31 % 2005, en andel som har ökat sedan 1990. Av denna mängd svarade vägtransporterna för drygt 82 % och flyget för 14 % och sjöfart för 1 %.<sup>18</sup> Värt att notera är att i dessa data ingår endast inrikes sjötransporter men såväl inrikes som internationellt flyg. Om internationell sjöfart skulle inkluderas i transportsektorns energianvändning skulle den totala energianvändningen för transporter bli knappt 15 % större och förskjuta de olika transportsektorernas andelar av energianvändningen till 72 % för vägtransporter, 12 % för flyg, 13 % för sjöfart.<sup>19</sup> Det är ett generellt problem att internationell sjöfart och internationella flygtransporter ofta faller utanför de analyser som görs kring transportsektorns energiförsörjning eftersom de svarar för en betydande del av transportsektorns energianvändning. En orsak till att man ofta inte inkluderar dessa transportslag är att de faller utanför de enskilda ländernas ansvar i enlighet med Kyotoprotokollet.

Transportsektorns energiförsörjning domineras av fossila bränslen men användningen av biodrivmedel ökar snabbt. År 2007 svarade de för 2,6 % av den energi som används för vägtransporter i Europa.<sup>20</sup> I Sverige var motsvarande andel ungefär 4 %.<sup>21</sup> Medan etanol är det dominerande bränslet i Sverige så är det biodiesel och vegetabiliska oljor som dominerar på EU-nivå med motsvarande 85 % av biodrivmedelsanvändningen. Mer än 50 % av biodrivmedelsanvändningen

---

<sup>15</sup> EEA (2008a).

<sup>16</sup> EEA (2008b).

<sup>17</sup> EEA (2008b).

<sup>18</sup> Data för EU-27. Källa Eurostat (2009).

<sup>19</sup> Data för 2004. Källa: EEA(2006a).

<sup>20</sup> Euroserver (2008).

<sup>21</sup> Energimyndigheten (2008a).

inom EU ägde år 2007 rum i Tyskland. Andelen biodrivmedel var också högst i Tyskland eller 7,3 %.<sup>22</sup>

## 2.2 EU:s klimat- och energistrategi

Utgångspunkten för EU:s klimatpolitik är målet att den globala medeltemperaturen inte ska öka med mer än 2°C jämfört med förindustriell temperatur, ett mål som antogs redan 1996 inför förhandlingarna i Kyoto.<sup>23</sup> De femton dåvarande medlemsländerna fick inom ramen för Kyotoprotokollet ett gemensamt åtagande om att minska utsläppen med 8 % till 2008-2012 jämfört med år 1990.

Under början av 2000-talet lanserades det europeiska handlingsprogrammet mot klimatförändringar, ECCP. Det innehöll ett antal specifika förslag på åtgärder som sedan till del resulterade i olika direktivförslag. En andra fas av ECCP lanserades år 2005. Flera centrala direktiv beslutades under början av decenniet inte minst direktivet om ett EU-gemensamt system för handel med utsläppsrätter. År 2003 infördes även ett direktiv om ökad användning av biodrivmedel.

Våren 2007 enades EU:s stats- och regeringschefer om ett EU-gemensamt mål för att minska utsläppen av växthusgaser fram till år 2020. Man valde att besluta om ett ensidigt bindande åtagande att uppnå en minskning av utsläppen med 20 % till år 2020, jämfört med 1990. Därutöver utlovade man att åta sig att minska utsläppen med 30 % om andra industriländer förbinder sig att göra jämförbara utsläppsminskningar och att ekonomiskt mer avancerade utvecklingsländer i rimlig utsträckning bidrar efter förmåga.<sup>24</sup>

Rådet antog under våren 2007 också en energihandlingsplan för att kunna uppnå de uppsatta utsläppsmålen. Energihandlingsplanen innehåller bland annat ett mål om energieffektivitet som innebär att EU:s samlade primärenergianvändning ska reduceras med 20 % jämfört med ett business-as-usual-scenario. Den innehåller också ett bindande mål om 20 % förnybar energi av den totala energikonsumtionen och om minst 10 % förnybara bränslen av den totala konsumtionen av bensin och diesel för transporter inom EU.

Utsläppsmålet och energihandlingsplanen konkretiserades av kommissionen i januari 2008 genom ett energi- och klimatpaket med tre huvudsakliga direktivförslag:

---

<sup>22</sup> Euroobserver (2008).

<sup>23</sup> Energimyndigheten och Naturvårdsverket (2007a).

<sup>24</sup> Energimyndigheten och Naturvårdsverket (2007a).

- En bördefördelning av EU:s utsläppsåtagande mellan medlemsstaterna för sektorer som inte ingår i EU:s system för handel med utsläppsrätter. Möjligheter att använda utsläppsenheter från de så kallade projektbaserade mekanismerna för att uppnå detta mål finns.
- En revidering av befintligt EU-direktiv om handel med utsläppsrätter. Viktiga förändringar var att det totala utsläppsutrymmet bestäms centralt och att en betydligt mindre andel av utsläppsrätterna än idag ska delas ut gratis. Värt att observera är att det finns ett separat beslut som innebär att flygsektorn inkluderas i EU:s system för handel med utsläppsrätter år 2012.
- Ett direktiv om förnybar energi som bland annat inkluderar en fördelning av 20 % -målet för förnybar energi mellan medlemsstaterna samt ett regelverk beträffande den beslutade andelen 10 % förnybara bränslen inom transportsektorn. Bland annat föreslogs en uppsättning hållbarhetskriterier som villkor för att bränslena skulle kunna räknas av mot målet.

I paketet ingick också förslag hur man skulle kunna skapa incitament för koldioxidavskiljning och -lagring (CCS) och säkerställa denna tekniks miljöintegritet.

Under 2008 har förslaget behandlats både inom rådet och parlamentet och vissa förändringar har införts i det direktiv som beslutades i december 2008, bland annat i form av striktare krav på klimatfördelar för att acceptera ett biobränsle för uppfyllande av målet för förnybara drivmedel och att fler utsläppsrätter ska delas ut gratis i EU:s handelssystem främst för att skydda den konkurrensutsatta industrin.

Parallellt med införandet av de tre direktiven i energi- och klimatpaketet har det pågått en process för att ta fram ett direktiv som reglerar energianvändningen i nya fordon. Detta styrmedel kan få stor betydelse för transportsektorns energianvändning och utsläpp av växthusgaser. Hittills har policyn för att minska fordonens energianvändning grundat sig på ett avtal med fordonsindustrin men de mål som sattes upp bedöms inte kunna uppnås.<sup>25</sup> I det nu aktuella direktivförslaget regleras att de genomsnittliga utsläppen av CO<sub>2</sub> i gruppen nyregistrerade bilar vara högst 130 g/km från 2015 och därefter. Därutöver ska andra EU-åtgärder tillse att EU:s övergripande mål på 120 g/km ska uppnås. Ett långsiktigt mål om att reducera dessa utsläpp till 95 g/km har också satts upp.<sup>26</sup> Detta kan jämföras med de genomsnittliga utsläppen hos nya fordon i Sverige som år 2007 var 181 g/km.<sup>27</sup>

<sup>25</sup> Energimyndigheten och Naturvårdsverket (2007b).

<sup>26</sup> [http://ec.europa.eu/environment/air/transport/co2/co2\\_home.htm](http://ec.europa.eu/environment/air/transport/co2/co2_home.htm) 2009-01-14.

<sup>27</sup> Naturvårdsverket (2008).

### 3 Transportsektorns energiförsörjning i ett urval scenarier

De business-as-usual scenarier som har studerats i denna rapport visar på en ökad energianvändning i transportsektorn under de närmaste decennierna. Flygets andel av transportsektorns energianvändning och utsläpp av koldioxid bedöms öka. I scenarierna bedöms andelen biodrivmedel öka till i storleksordningen 7-10% av det totala energibehovet i transportsektorn. I policyscenarier med syfte att minska utsläppen och öka användningen av förnybar energi ökar denna andel till storleksordningen 10-20% av drivmedelsanvändningen. Oljeprodukter kommer i de flesta av de studerade scenarierna fortsatt vara helt dominerande för transportsektorns energiförsörjning fram till 2030. Först framemot 2050 och därefter får alternativa drivmedel en dominerande position.

I detta avsnitt redovisas översiktligt resultaten från några olika scenarier som speglar transportsektorns energiförsörjning på medellång till lång sikt. Scenarierna har delvis olika utgångspunkter och metodansatser och är därför inte helt jämförbara men de kan tillsammans ligga till grund för den diskussion om de olika möjliga utvecklingsvägar för transportsektorns energiförsörjning som behandlas i avsnitt 4.

Perspektivet för beskrivningen av scenarierna är huvudsakligen europeiskt men för vissa av studierna är det inte alltid möjligt att urskilja Europa från den globala bilden eller från resultaten för samtliga OECD-länder. Några av de refererade studierna har svenskt perspektiv men kan ändå vara intressanta som jämförelse med de europeiska studierna.

Samtliga scenarier är i större eller mindre grad beroende av specifika antaganden om införda styrmedel, energipriser, teknikutveckling mm. Ambitionen är att, där så är möjligt, förklara hur skillnaderna mellan de olika scenarierna beror av gjorda antaganden. Tidsperspektiven för scenarierna varierar från allt emellan 2020 till utblickar mot 2050-2100.

Vissa av scenarierna är närmast att betrakta som prognoser medan andra är inriktade på att analysera effekterna av olika policies och styrmedel. Slutligen är vissa av scenarierna konstruerade för att nå specificerade mål, främst miljömål.



### 3.1 Energiscenarier från IEA

International Energy Agency (IEA) ger varje år ut en utblick över den framtida utvecklingen inom energiområdet. Utöver ett referensscenario med utgångspunkt i aktuella prisbedömningar och existerande policies har under senare år olika typer av policyscenarier presenterats.

I den senaste utblicken<sup>28</sup> som kom ut under hösten 2008 presenterades utöver referensscenariot för första gången ett par så kallade stabiliseringsscenarier. Dessa visade på utvecklingar som är förenliga med långsiktig stabilisering av växthusgaskoncentrationen på nivåerna 550-ppm CO<sub>2</sub>-ekvivalenter respektive 450 ppm CO<sub>2</sub>-ekvivalenter. Samtliga scenarier sträcker sig fram till 2030 och för referensscenariot redovisas energibalanser regionvis, där EU särredovisas. För stabiliseringsscenarierna finns ingen lika detaljerad regionalisering specificerad.

Jämfört med tidigare års studier bedöms energianvändningen öka något långsammare huvudsakligen beroende på antaganden om lägre ekonomisk tillväxt, främst i OECD-länderna, och betydligt högre energipriser i synnerhet på oljeprodukter. Oljepriset bedöms öka från cirka 70 dollar/fat 2007 till 100 dollar/fat 2010, 110 dollar/fat 2020 och 122 dollar/fat 2030. Detta är en stor skillnad i prisantaganden jämfört med tidigare år. I World Energy Outlook 2007<sup>29</sup> antogs till exempel oljepriser på 62 dollar/fat för 2030. Detta är en illustration av svårigheterna att bedöma framtida energipriser och därmed att göra prognoser i ett längre perspektiv.

Inom teknikområdet bedöms andra generationens drivmedel<sup>30</sup> vara kommersialiserade runt 2020. Man bedömer även att koldioxidavskiljning och -lagring (CCS) och omvandling av kol till flytande bränslen kommer att bli kommersiellt tillgängliga under tidsperioden.

#### 3.1.1 Referensscenario WEO 2008

Transportsektorns energianvändning förväntas i EU öka något mellan 2006 och 2030, men med en betydligt långsammare takt än tidigare, se Figur 1. Öknings-takten är också långsammare än för den totala energianvändningen inom EU.

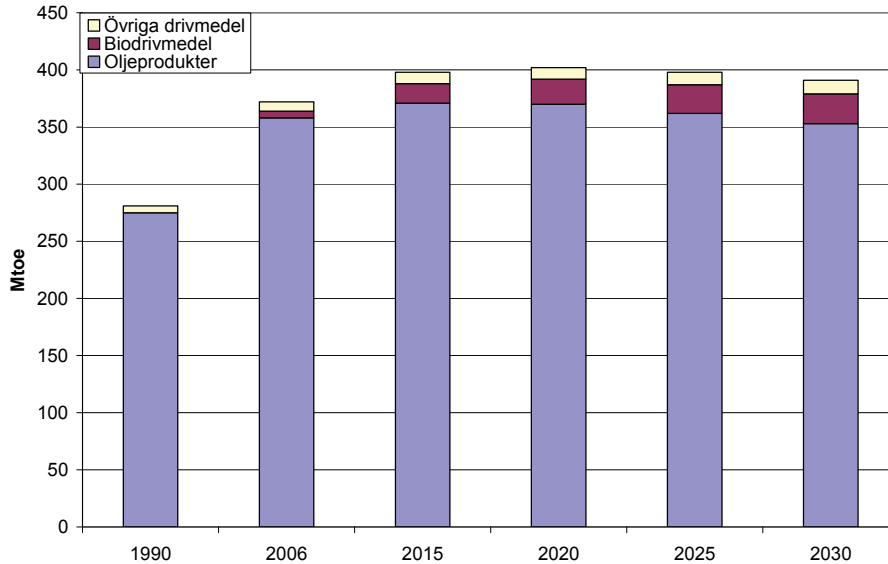
---

<sup>28</sup> IEA (2008a).

<sup>29</sup> IEA (2007).

<sup>30</sup> Med andra generationens drivmedel menas i allmänhet drivmedel som produceras från cellulosahaltiga råvaror såsom skogsbränslen, energiskog mm. Exempel på sådana bränslen är etanol producerad från cellulosa och metanol, DME, metan (SNG) och Fischer-Tropsch bränslen (t ex syntetisk diesel) som produceras med hjälp av termisk förgasningsteknik. Andra generationens drivmedel kontrasteras ofta mot de sk första generationens drivmedel till vilka man hänför etanol från konventionella jordbruksgrödor och biodiesel producerad från oljerika växter.

Detta skiljer sig från den globala situationen där transportsektorns energianvändning antas öka något snabbare än den totala energianvändningen. Upplösningen i WEO 2008 är inte sådant att det är möjligt att urskilja olika delsektorer inom transportsektorn från varandra.



Figur 1: Transportsektorns energianvändning i EU i referensscenariot i WEO 2008. Källa: IEA (2008a).

Användningen av oljeprodukter i transportsektorn ligger i scenariot för EU på i princip samma nivå 2030 som 2006 vilket innebär i princip stabiliserade koldioxidutsläpp från transportsektorn. Andelen biodrivmedel bedöms öka från knappt 2 % till knappt 7 % av transportsektorns energitillförsel och även andra drivmedels andel av energitillförseln ökar. Den största ökningen av biodrivmedel sker under perioden fram till år 2020 varefter ökningshastigheten bromsas upp. Av de olika biodrivmedlen bedöms biodiesel öka något snabbare än etanol. Även om andra generationens drivmedel bedöms vara kommersialiserad under andra halvan av perioden bedöms den i WEO endast bidra i liten skala till den totala tillförseln av biodrivmedel under perioden.

Biodrivmedelsanvändningen svarar endast för en begränsad andel (14 %) av den totala tillförseln av biobränslen och avfallsbränslen i EU 2030.<sup>31</sup> Resten används i stationära applikationer som elproduktion, industri och för byggnaders uppvärmning. Den totala energitillförseln i form av bioenergi och avfall fördubblas i scenariot från cirka 93 Mtoe<sup>32</sup> 2006 till 188 Mtoe 2030. Ökningen av biodrivmedelsanvändningen går från 6 Mtoe 2006 till 26 Mtoe 2030.

I scenariot antas en spridning av hybridfordon, inklusive plug-in-hybrider, under tidsperioden vilket bidrar till ökad energieffektivitet. Varken rena elfordon eller vätgasförsörjda bränslecellsfordon antas i detta scenario bli kommersialiserade före 2030. Däremot görs i rapporten bedömningen att det kan ske i större skala före 2050. Utvecklingen i elsystemet bedöms gå mot en mindre andel fossila bränslen (56 % 2006, 50 % 2030) och av dessa är en minskande del kol. Det gör att de specifika utsläppen från elproduktionen minskar från cirka 430 g/kWh 2006 till 340 g/kWh 2030.

I referensscenariot tas hänsyn till de styrmedel och åtgärder (policies and measures) som har antagits fram till mitten av 2008. För EU:s del innebär det bland annat att kommissionens integrerade energi- och klimathandlingsplan har inkluderats i scenariot. Det görs bland annat i form av antaganden om ökade priser på CO<sub>2</sub> i EU:s system för handel med utsläppsrätter, ökad användning av förnybar energi, ökad energieffektivitet samt ökad användning av biodrivmedel i transportsektorn.

### 3.1.2 WEO:s stabiliseringsscenarier

De två stabiliseringsscenarier som skapas i WEO 2008 bedöms i rapporten vara konsistenta med en långsiktig stabilisering av växthusgaser i atmosfären motsvarande 550 ppm respektive 450 ppm koldioxidekvivalenter. För stabiliseringsscenarierna redovisas inga data på Europanivå utan det som närmast speglar utvecklingen i dessa är data för OECD+.<sup>33</sup>

För att nå stabiliseringsnivåerna antas för OECD+ att ett system med handel med utsläppsrätter för el- och industrisektorn är infört, samtidigt som sektorsavtal baserade på bästa tillgänglig teknik antas bli implementerade inom OECD+ och andra större ekonomier för bland annat fordonsindustrin. Nationella åtgärder och

<sup>31</sup> För att få fram den totala tillförseln av biobränslen och avfall använder IEA den totala användningen av biodrivmedel tillsammans med de biobränslen och avfall som tillförs el- och värmeproduktion och de biobränslen som används inom industrin och inom andra sektorer. Det innebär att energiförluster på vägen från biomassa till biodrivmedel inte räknas med varför den redovisade %-andelen kan innebära en viss underskattning av hur stor del av tillförda biobränslen och avfall som används för transportändamål.

<sup>32</sup> Energimängder redovisas ofta i Mtoe (miljoner ton oljeekvivalenter) . 1 Mtoe motsvarar 41,9 PJ eller 11,6 TWh.

<sup>33</sup> Med OECD + menar IEA dagens OECD-länder plus de EU-länder som inte ingår i OECD.

styrmedel antas bli applicerade inom byggnadssektorn i OECD+-länderna. För de energirelaterade CO<sub>2</sub>-utsläpp som är i fokus i WEO innebär scenarierna globala utsläppsreduktioner motsvarande 22 respektive 40 % jämfört med referensscenariet ovan. Jämfört med utsläppen år 2006 innebär dock även stabiliserings-scenariot för 550 ppm ökade globala utsläpp, se Tabell 1. I OECD+ länderna bedöms utsläppen dock minska med 20 och 37 % i 550 ppm respektive 450 ppm scenariot jämfört med 2006.

Transportsektorns energianvändning globalt ökar med 34 % mellan 2006 och 2030 i 550 ppm scenariot. I OECD+ länderna är transportsektorns energianvändning i princip konstant i detta scenario medan utsläppen minskar. Utsläppen från flyget ökar dock i detta scenario.

I båda stabiliseringsscenarierna bedöms transportsektorn svara för en mindre del av utsläppsminskningen i OECD+ länderna. Medan den totala utsläppsminskningen 2006-2030 i OECD+ länderna är 20 % i 550 ppm scenariot och 37 % i 450 ppm scenariot är motsvarande procentuella förändringar för transportsektorn 11 % respektive 19 %. De största procentuella reduktionerna sker i stället inom elproduktionssektorn.

I båda stabiliseringsscenarierna antas som ovan nämnts att det finns internationella sektorsavtal för både väg- och flygtransporter. I 550 ppm scenariot antas till exempel att den genomsnittliga globala energieffektiviteten hos flottan av lätta vägfordon motsvarar 120 g CO<sub>2</sub>/km år 2030. Energieffektiviteten antas skilja sig mellan olika länder och nivåerna antas bli avsevärt lägre, 106 g CO<sub>2</sub>/km, i de OECD-länder som är mest energieffektiva. Energieffektiviteten hos tunga fordon förbättras med cirka en tredjedel jämfört med idag.

I 450 ppm scenariot antas energianvändningen reduceras ytterligare och bedöms för OECD+ länderna uppgå till 90 g/km år 2030. I det scenariot får hybridtekniken stort genomslag, användningen av biodrivmedel ökar betydligt (en fördubbling globalt jämfört med referensscenariot och en 10-dubbling jämfört med idag) och elfordon och plug-in-hybrider kommer in på marknaden i större grad. Ökningen av biodrivmedel bedöms främst ske i form av andra generationens drivmedel. De ambitiösa reduktionerna i scenariot kan enligt IEA inte nås utan omfattande global spridning av mycket mer energieffektiva fordon, rena elfordon och fordon baserade på vätgasdrivna bränsleceller.

Tabell 1: Energirelaterade utsläpp av CO<sub>2</sub> år 2006 och i scenarier för 2030 i WEO 2008 samt förväntat pris på CO<sub>2</sub> i OECD+ länder för att uppnå stabiliserings-scenariernas utsläppsnivåer. Källa: IEA (2008a).

	2006	2030 550 ppm-scenario	2030 450 ppm-scenario
Energirelaterade CO <sub>2</sub> utsläpp globalt Gton	26,9	31,6	24,5
Energirelaterade CO <sub>2</sub> utsläpp OECD+ Gton	13,0	10,4	8,2
CO <sub>2</sub> utsläpp transporter OECD+ Gton	3,6	3,2	2,9
Pris på CO <sub>2</sub> i OECD+ USD/ton	-	90	180

### 3.1.3 Långsiktiga scenarier från IEA

IEA har utöver scenarierna i World Energy Outlook utvecklat scenarier för 2050 i rapporten "Energy Technology Perspectives"<sup>34</sup>. I rapporten skapas ett antal scenarier med olika fokus på reduktioner av energirelaterade koldioxidutsläpp. Utöver ett referensscenario som i princip är en förlängning av grundscenariot i World Energy Outlook 2007 skapas ett scenario, ACT, som leder till globala utsläppsnivåer 2050 på samma nivå som år 2005 och ett antal scenarier, BLUE, som i stället leder till en halvering av de globala koldioxidutsläppen över perioden. För transportsektorn är minskningen av koldioxidutsläppen lägre eller cirka 30 %. I flygsektorn mer än fördubblas dock utsläppen av koldioxid även i BLUE-scenarierna för 2050. Inga regionala scenarier redovisas i rapporten.

Eftersom utvecklingen av tekniker för transportsektorn är osäker på lång sikt skapas fyra varianter av scenariot BLUE:

- BLUE Map: en kombination av hög energieffektivitet, biodrivmedel, vätgasdrivna bränslecellsfordon och rena elfordon.

<sup>34</sup> IEA (2008b).

- BLUE EV success: En variant som är optimistisk kring utvecklingen av rena elfordon, som därför dominerar i transportsektorn
- BLUE FCV success: en variant som är optimistisk med avseende på utvecklingen av vätgasdrivna bränslecellsfordon, som därför dominerar i transportsektorn.
- BLUE Conservative: ett scenario som varken antar att elfordon eller bränslecellsfordon når kostnadsminskningar så att de börjar införas i någon vidare omfattning. Transportutsläppen blir i detta scenario högre än i övriga BLUE-scenarier.

Det finns ett antal intressanta resultat från dessa mer långsiktiga scenarier:

- I referensscenariot spelar syntetiska flytande bränslen från kol och naturgas en stor roll och svarar för drygt 20 % av energianvändningen i transportsektorn. Dessa syntetiska flytande kolvätebränslen får stor betydelse för koldioxidutsläppen om man beaktar hela bränslekedjan. Utsläppen för de syntetiska bränslen är, räknat på hela bränslekedjan, mer än dubbelt så stora som för konventionella petroleumbränslen.
- I ACT-scenariot försvinner de syntetiska fossila bränslena helt medan bio-bränslen svarar för 17 % av transportbränslebehovet med lika fördelning mellan etanol och biodiesel. Andra generationens biodrivmedel dominerar. En kraftig energieffektivisering sker både genom förbättrade fordon med förbränningsmotor, en ökad användning av dieselteknik och ett ökat utnyttjande av hybridfordon. Hybridfordon dominerar bland lätta fordon runt 2050.
- Som mest (scenariot Blue MAP) svarar biodrivmedel för 26 % (700 Mtoe) av energin i transportsektorn 2050 vilket kan jämföras med referensscenariot i WEO 2008 där runt 120 Mtoe kommer till användning år 2030. I BLUE-scenarierna kommer biodrivmedel i form av Fischer-Tropsch-bränslen<sup>35</sup> även att användas för 15-30% av flygets energianvändning. Även inom sjöfarten spelar biodrivmedel en viktig roll i scenariot och antas kunna svara för 30 % av energianvändningen i sektorn.
- I scenariot BLUE EV success kommer elefterfrågan från transportsektorn att motsvara cirka 20 % av den totala elefterfrågan. IEA bedömer att möjligheterna att producera el utan utsläpp av koldioxid är mycket goda och man förväntar sig i BLUE-scenarierna att elsektorn är helt avkarboniserad år 2050.

<sup>35</sup> Bränslen som har producerats genom den sk Fischer-Tropsch processen. I denna produceras kolväten ur en blandning av kolmonoxid och vätgas som i sin tur har producerats genom förgasning av t ex kol eller biomassa. Med hjälp av processen kan flera typer av bränslen produceras bl a diesel och flygbensin, se t ex Saynor m.fl. (2003).

## 3.2 European Energy and Transport

EU-kommissionen har i flera omgångar tagit fram scenarier om utvecklingen av energi- och transportsystemet inom EU till år 2030. Den senaste uppdateringen av basscenariot togs fram år 2008.<sup>36</sup> Huvudresultaten från denna med avseende på transportsektorns energiförsörjning redovisas under 3.2.1.

Kommissionen presenterade år 2006 även scenarier, framtagna med samma modell men med inriktning mot effektiv energianvändning och förnybar energi.<sup>37</sup> Resultaten från dessa med avseende på transportsektorns energiförsörjning sammanfattas kortfattat under 3.2.2. Denna baserar sig på en tidigare version av basscenariot som i viss grad skiljer sig från det som redovisas nedan under 3.2.1.

Scenarierna har tagits fram med hjälp av den så kallade PRIMES-modellen<sup>38</sup> vid tekniska universitetet i Aten. Resultaten speglar visserligen inte någon specifik ståndpunkt från kommissionens sida, men har spelat och spelar fortfarande en stor roll vid utvecklingen av kommissionens politik. Så har de till exempel använts för kommissionens beslut angående de olika medlemsländernas fördelningsplaner för tilldelningen av utsläppsrätter inom ramen för EU:s system för handel med utsläppsrätter.<sup>39</sup> Scenarier baserade på beräkningar med PRIMES-modellen har också använts för konsekvensbedömningar av EU-kommissionens klimat- och energipaket under våren 2008.<sup>40</sup>

### 3.2.1 Energy baseline to 2030

Basscenariot<sup>41</sup> för 2030 utgår från de regelverk som existerade vid slutet av 2006. Bland dem med betydelse för transportsektorns energiförsörjning var bland annat direktivet om biobränslen från 2003, och det frivilliga avtalet med ACEA<sup>42</sup> om ökad energieffektivitet hos fordon. Antagna oljepriser är cirka 50 % lägre (63 dollar/fat 2030) än de som antagits i WEO 2008, vilket får stor betydelse för utvecklingen av energianvändningen inte minst i transportsektorn.<sup>43</sup>

Energianvändningen i transportsektorn i EU ökar i scenariot med nästan 30 % mellan 2005 och 2030. Snabbast är ökningen i energianvändning i flygtransportsektorn där energianvändningen fördubblas mellan 2005 och 2030, vilket kan jämföras med personbilar där ökningen under motsvarande period uppgår till

<sup>36</sup> Capros m.fl. (2008).

<sup>37</sup> Mantzos och Capros (2006).

<sup>38</sup> PRIMES-modellen är en energisystemmodell som simulerar jämviktslösningar för energimarknaden i EU:s medlemsstater. Se <http://www.e3mlab.ntua.gr/manuals/PRIMsd.pdf>

<sup>39</sup> Energimyndigheten och Naturvårdsverket (2007c).

<sup>40</sup> Commission of the European Communities (2008b).

<sup>41</sup> Capros m.fl. (2008).

<sup>42</sup> European Automobile Manufacturers' Association.

<sup>43</sup> Den antagna nivån motsvarar i stället den som användes i WEO 2007.

cirka 10 % och med lastbilstransporter där ökningen är ungefär 40 %. Utvecklingen i EU-scenariot kan jämföras med utvecklingen i referensscenariot för EU i WEO 2008 där ökningen mellan 2006 och 2030 var cirka 5 %. Skillnaden beror med största sannolikhet till stor del på skillnader i antagna oljepriser.

Ökningen i energieffektivitet för transporter (mätt som energianvändning per person-km respektive ton-km) är måttlig, 15 % för persontransporter och 8 % för godstransporter. För 2030 bedöms genomsnittliga energianvändningen för personbilar vara cirka 7,5 l/100 km.

Andelen av den energi som används för vägtransporter som är biobränslen ökar till en nivå på knappt 10 % kring 2030. Denna ökning av andelen sker i princip helt på bekostnad av bensin, medan diesel bibehåller sin andel under hela tidsperioden. Även gasol bibehåller sin andel om cirka 2 % av energitillförseln inom vägtransportsektorn. För transportsektorn som helhet sjunker den andel som oljeprodukter svarar för från 97 % 2005 till 91 % 2030. Hybrider och plug-in-hybrider finns i scenariot endast i en begränsad andel av fordonsflottan (3 % av personbilarna 2030).

Totalt i hela energitillförseln (transporter och stationära anläggningar) sker en fördubbling av mängden biobränslen och avfall vilket i stort motsvarar utvecklingen för EU i WEO 2008. Av dessa bränslen används motsvarande knappt 30 % för produktion av biodrivmedel.

Utsläppen av koldioxid ökar snabbare i transportsektorn än i övriga sektorer. Transportsektorns utsläpp ökar med cirka 20 % mellan 2005 och 2030 medan de totala utsläppen ökar med cirka 8 %.

### 3.2.2 Scenarios on energy efficiency and renewables

I rapporten ”Scenarios on energy efficiency and renewables”<sup>44</sup> presenteras tre olika scenarier: ett med fokus på effektiv energianvändning, ett med fokus på stor andel av förnybar energi och ett scenario som kombinerar båda dessa inriktningar.

I scenariot med ökad energieffektivitet, innebär tillgång till mer energieffektiv teknik och skärpta styrmedel att transportsektorns energianvändning blir cirka 10 % lägre 2030 än i basscenariot och blir ungefär på samma nivå som år 2005. Observera att det basscenario som man jämför med här hade en betydligt lägre energianvändningsnivå 2030 än uppdateringen från 2008 som redovisas i 3.2.1.<sup>45</sup> Andelen biodrivmedel som del av bensin- och dieselanvändningen blir i detta scenario cirka 9 %.

<sup>44</sup> Mantzos och Capros (2006).

<sup>45</sup> Skillnaden beror främst på att den specifika energianvändningen (toe/miljoner person-km) minskar mycket långsammare i den senare rapporten.



I scenariot med fokus på en ökad andel förnybar energi påverkas den totala energianvändningen endast i begränsad omfattning jämfört med basscenarioet men andelen biodrivmedel ökar till knappt 20 % av bensin- och dieselanvändningen. Den totala mängden biobränslen och avfall som tillförs energisystemet är dubbelt så hög som i basscenarioet och cirka 3,7 gånger högre än år 2005. Precis som i basscenarioet används knappt 30 % av biobränslena för produktion av biodrivmedel.

I det sista scenariot hamnar andelen biodrivmedel högre än i scenariot ökad energieffektivitet men lägre än i scenariot med fokus på förnybar energi. Andelen blir i detta scenario ungefär 15 %.

Värt att notera är att i scenariot med högst användning av biomassa och avfall uppgick denna 2030 till cirka 305 Mtoe. Detta kan jämföras med de potentialer som EEA<sup>46</sup> uppskattade kunde användas utan att skada miljön, som för 2030 bedömdes uppgå till 295 Mtoe/år (12 EJ/år). Denna potential domineras av avfall (inklusive avlutar<sup>47</sup>) och biomassa från jordbruksmark medan potentialen från skogsbruk är mer begränsad.

Även i de här redovisade scenarierna med hög energieffektivitet och mer förnybar energi minskar energianvändningen och utsläppen av koldioxid i mindre grad i transportsektorn (som mest med 11 % 2000-2030) än totalt inom EU. I det scenario där utsläppen minskar som mest minskade de totala utsläppen med 27 % mellan år 2000 och 2030.

### **3.3 Några andra relevanta scenarier från forskningslitteraturen**

Det finns flera aktuella forskningsanalyser som har studerat transportsektorns energiförsörjning med lite olika fokus och angreppssätt. I det följande redovisas ett urval av dessa. Urvalet speglar lite olika angreppssätt och kan därför vara intressanta genom de olika ingångar som kan erhållas kring problematiken. Azar m.fl. (2003) respektive Turton (2006) utgår från modelleringar av kostnads-effektiva strategier på global nivå för att nå olika stabiliseringsnivåer för växthusgaser med ett tidsperspektiv fram till 2100. Detta kan ge ett utvidgat perspektiv jämfört med ovan diskuterade studier som enbart sträcker sig till år 2030. Åhman och Nilsson (2008) analyserar möjlig energitillförsel till transportsektorn på EU-nivå utifrån ett bottom-up perspektiv. Åkerman och Höjer (2006)

---

<sup>46</sup> EEA (2006b).

<sup>47</sup> Avlutar är en biprodukt inom massaindustrin som bildas när träflisen kokas till pappersmassa. När massan silas erhålls en rest av lignin och kemikalier som efter avdunstning i allmänhet förbränns i en sodapanna. ([www.bioenergiportalen.se](http://www.bioenergiportalen.se)).

presenterar en så kallad backcasting-studie som fokuserar på Sveriges transport-system men har ett globalt perspektiv på möjlig energitillförsel.

### 3.3.1 Azar m.fl. och Turton

Azar m.fl. (2003) och Turton (2006) är två exempel på globala scenariostudier som båda studerar hur transportsektorns energiförsörjning kan tänkas se ut på lång sikt (-2100) under strikta restriktioner på utsläpp av växthusgaser. De olika studierna skiljer sig åt vad gäller scenariernas antagande om acceptabla koncentrationer av koldioxid där Azar m.fl. utgår från lägre nivåer (400 ppm) än Turton (som antar att en topp på 550 ppm nås mot slutet av århundradet för att sedan minska).

Båda studierna är baserade på energisystemövergripande modelleringar där man genom optimering söker den utveckling med vilken man uppnår målet till lägst kostnad. Det faktum att modellerna är energisystemövergripande innebär att utsläppsminskande åtgärder genomförs i de delar av systemet där kostnaderna är lägst vilket till exempel kan leda till att transportsektorns utsläppsreduktion kan skilja sig från utvecklingen i till exempel elsektorn. Det innebär också att begränsade resurser, som till exempel bioenergi, styrs till de sektorer där de bäst (till lägst kostnad) bidrar till den eftersträvade utsläppsminskningen. Det globala perspektivet gör att man inte i artiklarna kan identifiera regionala skillnader (men det kan eventuellt vara möjligt i underlagsdata).

I Turton (2006) dominerar de fossila bränslena helt och hållet fram till runt 2050. Det rör sig främst om petroleumbränslen även om naturgas får en viss spridning under perioden. En viss övergång från fordon med enbart förbränningsmotorer till hybrider sker och år 2030 används hybrider för cirka 10 % av transporterna. Efter 2050 expanderar användningen av gas, biomassebaserade alkoholer och vätgas i bränsleceller (vätgasen produceras huvudsakligen från biomassa men i viss mån även från naturgas) och dominerar mot slutet av århundradet transportsektorns energiförsörjning medan petroleumbränslen helt har försvunnit.

I Azar m.fl. (2003) dominerar petroleumbränslen helt och hållet energiförsörjningen fram till runt 2040-2050 då vätgas på allvar börjar komma in i systemet. Mot slutet av århundradet dominerar vätgas helt i transportsektorn (inklusive flyget) med undantag för elektricitet för järnvägstransporter. Vätgasen produceras i scenarierna dels från solenergi (ca 200 EJ/år i slutet av århundradet) och från fossila bränslen med CCS (90 EJ/år). I vissa scenarier med särskilt gynnsamma antaganden för biomassebaserad metanol kan dessa konkurrera under en övergångsperiod men mot slutet av århundradet dominerar även i dessa scenarier vätgasen.

Det de två studierna har gemensamt är främst den totala dominans som fossila bränslen bedöms ha i transportsektorn ända fram till mitten av århundradet. Däremot skiljer sig utvecklingen kraftigt åt efter 2050 där biomassebaserade

drivmedel får en stor roll i Turton men i princip ingen alls i Azar m.fl. Skillnaden kan bero både på att Turton antar en cirka 50 % större biomassepotential än Azar m.fl. och att Azar m.fl. ser en stor efterfrågan på biobränslen för el- och värmeproduktion där den kan användas mer kostnadseffektivt varför möjligheterna till användning i transportsektorn begränsas. I Turton är efterfrågan på biobränslen relativt låg i övriga delar av energisystemet. Orsaken till att efterfrågan är liten är dels att den totala värmeproduktionen minskar kraftigt, dels att man i studien antar en mycket stor expansion av kärnkraft för elproduktion. I Azar m.fl. däremot svarar kärnkraft för en minimal del av energitillförseln. Dessutom är det troligt att olika tekniska antaganden, t ex vad gäller produktionskostnaderna för solbaserad vätgas, kan vara av betydelse för resultaten i de olika scenarierna men det kan inte direkt utläsas i artiklarna.

Man bör i sammanhanget vara medveten att scenarier baserade på optimeringsmodeller i allmänhet utgår från att investeringar sker med utgångspunkt i perfekt kunskap om framtiden och teknikutvecklingen. De speglar därför bara hur det framtida energisystemet optimalt borde utvecklas under vissa antaganden om teknikutveckling, kostnader och restriktioner på till exempel utsläpp. Modellberäkningarna resulterar ofta i ett dominerande energislag per tillämpning. I verkligheten måste investerare i stället utgå från de existerande osäkerheter som finns vad gäller teknikutveckling, framtida politiska ramverk, och kostnadsutveckling vilket kan motivera andra strategier än de som framhålls som mest gynnsamma i de optimerande studierna.

### 3.3.2 Åhman och Nilsson (RAFF)

Åhman och Nilsson (2008) har i sitt RAFF-scenario (RApid Future vehicles and Fuels scenario) analyserat hur vägtransportsektorn inom EU kan omvandlas i enlighet med ambitiösa klimatmål samtidigt som transporterens omfattning ökar i enlighet med prognos. Scenarierna sträcker sig till 2030 och baserar sig på en strategi för en snabb implementering av fordon med hög effektivitet och andra generationens drivmedel. Utgångspunkten är att elektricitet och vätgas är de eftersträvarvärda bränslena på längre sikt (>2050) eftersom de inte släpper ut koldioxid vid den slutliga användningen. Som en följd av detta anser författarna att det är viktigt att strategier på medellång sikt (2030) inte ska innebära inläsningar som försvårar en framtida övergång till el och vätgas.

I RAFF-scenariot antas en gemensam plattform i form av elektriska drivsystem få genomslag i fordonsparken i form av rena elfordon, hybridfordon, plug-in-hybrider och bränslecellsfordon. Kombinerat med andra fordonstekniska åtgärder blir energianvändningen för vägtransporter i RAFF-scenariot nästan 25 % lägre än 2005 och knappt 40 % lägre än i en trendframskrivning för 2030. I RAFF-scenariot bedöms tillförseln till fordonsparken i huvudsak baseras på biobränslen (vätgas, alkoholer, Fischer-Tropsch-bränslen och el). Efterfrågan på biobränslen ökar kraftigt och kan, för att försörja transportsektorn med biobränslen,

motsvarar mellan 15-21 EJ/år. Detta motsvarar optimistiska skattade storleksordningar på framtida biobränsletillförsel inom EU. Ericsson och Nilsson (2006) skattar t ex potentialen till cirka 17 EJ/år i deras mest optimistiska scenario (detta är för övrigt betydligt högre än EEA:s skattningar motsvarade ungefär 12 EJ/år, se ovan). Den slutsats författarna drar är att EU inte samtidigt kan bli självförsörjande av biomassa för drivmedel, värme, el och mat.

En expansion av plug-in hybrider skulle enligt författarna få en inte obetydlig effekt på eltillförseln inom EU. Ett antagande om att 50 % av person-km täcks av el skulle leda till en ökning av elefterfrågan om cirka 250 TWh/år, vilket kan jämföras med en prognostiserad elproduktion på cirka 4500 TWh/år år 2030.<sup>48</sup>

Det scenario som konstruerats är enligt författarna tekniskt genomförbart men ytterst osannolikt med dagens utvecklings- och investeringstrender. Syftet anges i stället vara att illustrera vilket tekniskt manöverutrymme som finns.

De slutsatser som dras i artikeln är att det finns tre tekniska plattformar som är intressanta att fokusera utvecklingssatsningar på inför framtiden. Det är dels den elektriska drivlinan som i olika konstellationer kan leda till ökad energieffektivitet, dels är det de biokemiska och termokemiska plattformarna för produktion av drivmedel. Förgasningsteknik lyfts fram som fördelaktig genom sin flexibilitet både vad gäller råvaror och produkter (el, flytande bränslen, vätgas, kemikalier). Den kan även fungera ihop med koldioxidavskiljning och -lagring (CCS).

### 3.3.3 Åkerman och Höjer

I Åkerman och Höjer (2006) analyseras hur Sveriges transportsystem kan utvecklas till 2050 så att det kan bli förenligt med uthålliga restriktioner på koldioxidutsläpp. Fokus ligger på transportsektorn men för vissa aspekter tas ett bredare perspektiv. En viktig utgångspunkt tas i uppskattade globala potentialer för förnybar energi. Utifrån dessa och bedömningar av hur stor global användning av fossila bränslen som maximalt kan vara förenlig med uppsatta klimatmål beräknas en möjlig global energianvändning. Utifrån antagandet om att Sverige kan använda en lika stor mängd energi per capita som det globala genomsnittet beräknas en total mängd energi tillgänglig för Sveriges energisystem. Transportsektorn antas här kunna ta samma andel av denna energimängd i anspråk som transportsektorns andel av energianvändning idag.

Den huvudslutsats som dras i studien är att även om tekniska lösningar har stor potential att bidra till minskad energianvändning kan inte klimatrestriktionerna klaras utan att även transportarbetet minskar i viss grad jämfört med år 2000.

<sup>48</sup> Skattning redovisad av Åhman och Nilsson (2008). I IEA(2008a) uppskattas elproduktionen i EU till cirka 4160 TWh år 2030.

I sammanhanget kan det vara värt att notera att den globala tillförseln av förnybar energi (260 EJ/år) i denna studie huvudsakligen utgår från globala bioenergi-potentialer och i mycket lägre grad inkluderar antaganden tillgängliga solenergi-resurser än t ex Azar m.fl.

### 3.4 Energimyndighetens långsiktsprogner

Energimyndighetens senaste långsiktsprognos<sup>49</sup> för energiförsörjningen presenterades år 2007 och en uppdaterad version låg bland annat till grund för Energimyndighetens och Naturvårdsverkets redovisning av underlag till kontrollstation 2008 för klimatpolitiken.<sup>50</sup> En ny långtidsprognos är under utarbetande och ska presenteras under våren 2009. I långsiktsprognoserna togs utgångspunkt i då aktuell politik och styrmedel och de då aktuella bedömningarna av ekonomisk tillväxt, energipriser etc. Oljepris-antagandena var jämfört med den senaste World Energy Outlook låga, i den uppdaterade versionen till kontrollstationen 46 dollar/fat för år 2015 och 51 dollar/fat för 2025. Detta kan jämföras med de nivåer på 110 och 122 dollar/fat som antagits för 2020 och 2030 i den senaste World Energy Outlook. Antagna oljeprisnivåer är en faktor som påverkar energianvändningen betydligt i den oljeberoende transportsektorn.

Förutom bränslepriser, som styrs av världsmarknadspriset på olja och befintliga skatter (inklusive fortsatt skattebefrielse för förnybara drivmedel), är antaganden om teknisk utveckling viktigt. I prognosen antas en ökad försäljning av hybridbilar och den genomsnittliga bensinförbrukningen i nya personbilar antas minska även om de procentuella mål som har satts inom ramen för ACEA-åtagandena om ökad energieffektivitet inte bedöms komma att bli uppnådda. Inte heller antar man att bränslecellsfordon eller andra nyutvecklade fordonstyper får något genomslag under perioden. Antalet bränsleflexibla bilar antas öka i prognosen men det leder inte till någon större ökning av användningen av förnybara drivmedel på grund av att konsumenterna, med antagna prisförhållanden bedöms tanka dessa med bensin.

Energianvändningen i transportsektorn bedömdes i prognosen för kontrollstationen<sup>51</sup> öka från 120 TWh år 2004 till 138 TWh och 160 TWh för år 2015 och 2025. Inom inrikes transporter bedöms bensin-användningen minska under hela prognosperioden delvis genom övergång till diesel i både personbilar och lätta lastbilar. Som en följd av att man även antar en stor ökning av godstransporterna bedöms dieselanvändningen öka kraftigt. Användningen av biodrivmedel väntas öka men bedöms, på grund av ökning av dieselanvändningen, stanna på en andel

---

<sup>49</sup> Energimyndigheten (2007).

<sup>50</sup> Energimyndigheten och Naturvårdsverket (2007a och 2007d).

<sup>51</sup> Energimyndigheten och Naturvårdsverket (2007c).

om 7%<sup>52</sup> i förhållande till bensen- och dieselanvändningen år 2020. Det har antagits att 93 % av all bensen innehåller 5 % etanol och 93 % av all diesel innehåller 5 % FAME.<sup>53</sup> Dessutom antogs att 300 000 personbilar var flexifuelfordon (FFV) och hade en tankningsgrad för E85 motsvarande 30 %.<sup>54</sup> Några specifika antaganden om huruvida dessa drivmedel produceras från inhemsk biomassa eller kommer från import specificeras inte i rapporten.

I ett tilläggsuppdrag från klimatberedningen under hösten 2007 analyserades effekterna av ett högre oljepris om 70 dollar/fat.<sup>55</sup> Förutom förväntad reduktion av den totala energianvändningen på grund av ökade priser förväntas även användningen av förnybara drivmedel öka. Eftersom det finns en korrelation mellan bensenpriset och priset på etanol<sup>56</sup> är det dock enligt myndigheterna ”osäkert att utgå från att en höjning av oljepriset inte skulle påverka även etanolpriset”.

I huvudalternativet i kontrollstationen antas cirka 7 % av drivmedlen utgöra förnybara drivmedel år 2020. I alternativet med ökade oljepriser (enligt tilläggsuppdraget) skapas ett antal scenarier där det antas att såväl antalet flexifuelfordon ökar som att dessas etanoltankningsgrad ökar, från kontrollstationens 30 % till 50-85%. I ett av scenarierna antas också ökad nivå på låginblandningen till 10 %. Andelen förnybara drivmedel varierar i scenarierna mellan 7 och 13,5% för år 2020.

I tilläggsuppdraget ingick också att lämna förslag för mer kraftfulla utsläppsminskningar än i kontrollstationsuppdraget. I dessa ingick ökning av andelen förnybara drivmedel i transportsektorn. För att motivera en ökad andel av förnybara drivmedel över 10 % ansåg dock myndigheterna att det skulle erfordra tillgång till andra generationens drivmedel.

En ny långsiktig energiprognoz kommer att presenteras under våren 2009.<sup>57</sup> I huvudscenariot antas ett oljepris på 90 dollar/fat men ett scenario med ännu högre oljepris, 120 dollar/fat analyseras också. Hybridfordon antas slå igenom under prognosperioden och år 2020 antas de stå för cirka 35 % av nybilsförsäljningen. Laddhybrider och rena elbilar finns endast i mindre grad med i beräkningen.<sup>58</sup> Efterfrågan på alternativa drivmedel bedöms öka och i prognosen uppgår andelen förnybara drivmedel till 11 %. Det är främst etanol som ökar

---

<sup>52</sup> Energimyndigheten och Naturvårdsverket (2007e), Tabell 11.

<sup>53</sup> Energimyndigheten och Naturvårdsverket (2007d), s 42.

<sup>54</sup> Energimyndigheten och Naturvårdsverket (2007e).

<sup>55</sup> Energimyndigheten och Naturvårdsverket (2007e).

<sup>56</sup> Priset på etanol följer i stor grad priset på bensen.

<sup>57</sup> Informationen i det följande stycket baserar sig på personlig information från Helen Lindblom, Energimyndigheten, 2009-01-15.

<sup>58</sup> Orsaken till det är att teknikläget är osäkert och att kostnaden initialt bedöms vara betydligt högre än för konventionella fordon. Eftersom prognosen baserar sig på dagens styrmedel antas inga ytterligare styrmedel som skulle kunna leda till en snabbare introduktion.

vilket beror på gjorda antaganden om bensin- och etanolpriser vilka medför att det bedöms fördelaktigt att tanka etanol under prognosperioden.

### 3.5 Några sammanfattande slutsatser om scenarierna

Även om utgångspunkt och metodik skiljer sig åt i de olika scenarierna så går det att dra några generella slutsatser:

- I de studerade ”business-as-usual-liknande” scenarierna<sup>59</sup> ökar energianvändningen i transportsektorn under de närmaste decennierna men ökningen i EU/Europa varierar mellan scenarierna från 5 till 30 %. Skillnaden i resultaten kan antas bero såväl på olika modellansatser som de stora skillnader i antaganden om oljepriser som finns i de olika scenarierna. Där flyget är möjligt att urskilja ökar dess andel av transportsektorns energi-användning och utsläpp av koldioxid. I dessa scenarier bedöms andelen biodrivmedel öka till i storleksordningen 7-10% av det totala energibehovet i transportsektorn.
- I policyscenarier med syfte att minska utsläppen och öka användningen av förnybar energi<sup>60</sup> ökar andelen biodrivmedel till 10-20% av drivmedelsanvändningen. Av den totala användningen av bioenergi förväntas den större delen ske i stationära anläggningar.
- I de flesta scenarier som syftar till att minska utsläppen av växthusgaser förväntas en mindre del av reduktionen ske inom transportsektorn och en större del i stationära anläggningar.<sup>61</sup> Inom transportsektorn ökar utsläppen i flygsektorn betydligt även i vissa scenarier där de totala utsläppen minskas.<sup>62</sup>
- Oljeprodukter kommer i de flesta av de studerade scenarierna fortsatt vara helt dominerande för transportsektorns energiförsörjning fram till 2030. Först framemot 2050 och därefter får alternativa drivmedel en dominerande position. Vilket eller vilka drivmedel de kommer att vara (alkoholer, vätgas, el) skiljer sig åt mellan scenarierna.
- Skillnaderna beror bland annat på gjorda antaganden om teknikutveckling för de olika teknikerna, tillgång på olika förnybara energiresurser, utnyttjande av kärnkraft och efterfrågan på bioenergi i andra sektorer än transportsektorn.

<sup>59</sup> Capros m.fl. (2008), IEA (2008a), Energimyndigheten (2007)

<sup>60</sup> Se t ex mitigation scenarios i IEA (2008a) och Mantzos och Capros (2006).

<sup>61</sup> Det gäller även i andra scenarier än de som beskrivits ovan t ex Krewitt m.fl. (2007).

<sup>62</sup> Se t ex IEA (2008b).

- Skillnader mellan olika scenarier kan också bero på hur man ser på beslutsfattande. Till exempel utgår vissa scenarier från hur prisförändringar historiskt påverkat energisystemet, andra utgår från att aktörerna väljer ekonomiskt optimala lösningar med fullständig kunskap om framtiden medan ytterligare andra studier utgår från att preferenser kan ändras över tiden. Vilket angreppssätt som valts påverkar de resultat man kommer fram till i scenarierna.
- En förutsättning för att biodrivmedel ska kunna bli ett dominerande bränsle i transportsektorn samtidigt som de totala utsläppen minskar kraftigt är både en omfattande effektivisering av energianvändningen i hela samhället och en ökad tillförsel av annan koldioxidneutral energi i stationära anläggningar.



## 4 Möjliga utvecklingsvägar för transportsektorns energiförsörjning

De fyra utvecklingsvägar för transportsektorns energiförsörjning som diskuteras i detta avsnitt (fossila drivmedel, biodrivmedel, vätgas, el) uppvisar både likheter och skillnader. Framför allt finns det klara likheter mellan biodrivmedel och dagens system med flytande fossila drivmedel och mellan vätgas- och elsystemet. Biodrivmedel och fossila drivmedel kan utnyttja befintlig fordonsteknik och existerande distributionssystem. Medan användningen av fossila drivmedel på sikt försvåras av klimatrestriktioner finns resursmässiga restriktioner för användningen av biodrivmedel.

Vätgas och el uppvisar båda stor flexibilitet vad gäller möjlig försörjning med energibärare med låga eller till och med negativa utsläpp av koldioxid sett över hela drivmedelskedjan. Möjligheterna till lagring av energibärarna i fordonen är dock sämre än för de fossila drivmedlen och biodrivmedlen.

Även om det finns stora likheter mellan system baserade på elfordon och system baserade på vätgasfordon finns en avgörande skillnad i och med att ett välutvecklat distributionssystem redan existerar för elfordon. För vätgas saknas ett storskaligt distributionsnät vilket kan vara ett viktigt hinder för expansion.

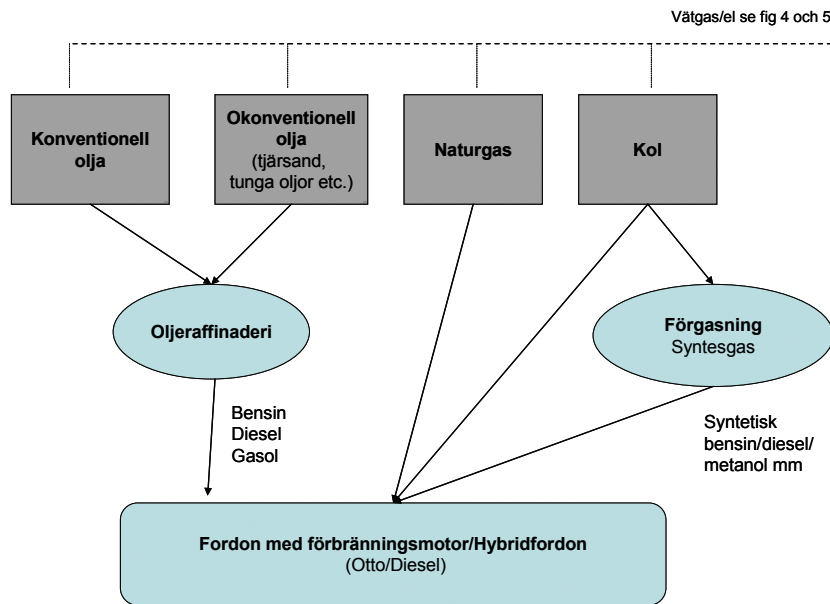
I detta avsnitt beskrivs kvalitativt fyra möjliga utvecklingsvägar vad gäller transportsektorns energiförsörjning på medellång och lång sikt. Utvecklingsvägarna är inte nödvändigtvis uteslutande utan kan delvis utvecklas parallellt. De olika utvecklingsvägarnas förenlighet med miljörestriktioner, främst kraftiga reduktioner av växthusgaser och kravet på uthållig användning av naturresurser diskuteras liksom nyckelfaktorer för att utvecklingsvägarna ska realiseras.

### 4.1 Fossilbaserade drivmedel

Dagens fossila drivmedel domineras av bensin och diesel men även gasol (LPG) och naturgas används på sina håll. I Figur 2 redovisas ett urval existerande och möjliga energikedjor för fossila drivmedel.

En fortsatt energiförsörjning i transportsektorn baserad på flytande fossila drivmedel är vad som ofta faller ut i olika referensscenarier som baserar sig på dagens policysituation. Även i många scenarier med miljöinriktning dominerar fossila bränslen helt och hållet transportsektorns energiförsörjning under de närmaste 20 åren. En grundläggande förklaring till detta är att oljeprodukter är

särskilt lämpliga för användning i transportsektorn eftersom flytande bränslen som är lätta att transportera och lagra kan produceras från råolja med relativt sett låga kostnader och små energiförluster.



Figur 2: Bränslekedjor för fossilbaserade drivmedel. Fossilbaserad vätgas och elektricitet redovisas ej här utan diskuteras i avsnitt 4.3 och 4.4.

En fortsatt petroleumbaserad energiförsörjning är inte, i ett längre perspektiv, förenlig med långsiktiga ambitiösa klimatmål motsvarande till exempel EU:s tvågraders mål. Däremot kan den vara acceptabel under flera decennier under förutsättning att kraftfulla utsläppsminskningar sker i andra sektorer och att energianvändningen effektiviseras i transportsektorn.

I de flesta scenarier som utgår från kriteriet kostnadseffektiv uppfyllelse av klimatmålen ersätts de fossila bränslena betydligt långsammare i transportsektorn än i övriga sektorer. Ett exempel är till exempel scenarierna i Azar m.fl. (2003) där de fossila drivmedlen är nästan allena rådande ännu kring år 2050 även i ett scenario med mycket strikta klimatrestriktioner. Att därefter fortsätta med fossil energi torde däremot inte vara förenligt med strikta koldioxidrestriktioner om inte teknik för koldioxidavskiljning och lagring blir aktuella vilket i sin tur skulle kräva övergång till vätgas- eller elbaserade energisystem, se avsnitt 4.3 och 4.4.

En uppenbar fördel med en energiförsörjning baserad på petroleumprodukter är att befintlig fordonsteknik och befintliga distributionssystem kan fortsätta att

utnyttjas. Detta bidrar i sin tur till att förstärka den starka inlåsning i systemet som finns redan i dag.

Ett växande problem kan dock bli en ökande knapphet på billig olja. Knappheten på billiga oljeresurser manifesterar sig i IEA:s scenarier både genom ökande oljepriser och ett ökat utnyttjande av okonventionella oljeresurser som tjärsand och extra tunga oljor. Omvandling av kol och gas till flytande bränslen är också ett möjligt och till och med troligt alternativ i ett scenario där klimatproblematiken nedprioriteras. I jämförelse med oljeresurserna är kolresurserna avsevärt mycket större. På grund av deras jämförelsevis höga livscykelemissioner leder kolbaserade flytande bränslen till ökade utsläpp av växthusgaser.

I WEO 2008:s referensscenario svarar okonventionell olja för 8 % av oljetillförseln. I ”Energy Technology Perspectives” svarar okonventionell olja och syntetiska fossila bränslen för cirka 40 % av tillförseln av flytande bränslen i baseline-scenariot för år 2050.

Transportsektorns totala beroende av petroleum har implikationer med avseende på försörjningstrygghet. Den andel av oljetillförseln som kommer från mellanöstern bedöms öka till 2030 medan OECD-ländernas andel minskar även om den totala produktionen förväntas öka (IEA, 2008). En ökad användning av kol för drivmedelsproduktion skulle eventuellt kunna påverka försörjningstryggheten positivt eftersom det innebär en breddning av antalet länder som kan leverera råvara för drivmedel men det bör noteras att OECD Europa, liksom idag, inte bedöms vara självförsörjande på kol i framtiden även utan användning för drivmedelsändamål.<sup>63</sup>

## 4.2 Storskalig expansion av biodrivmedel

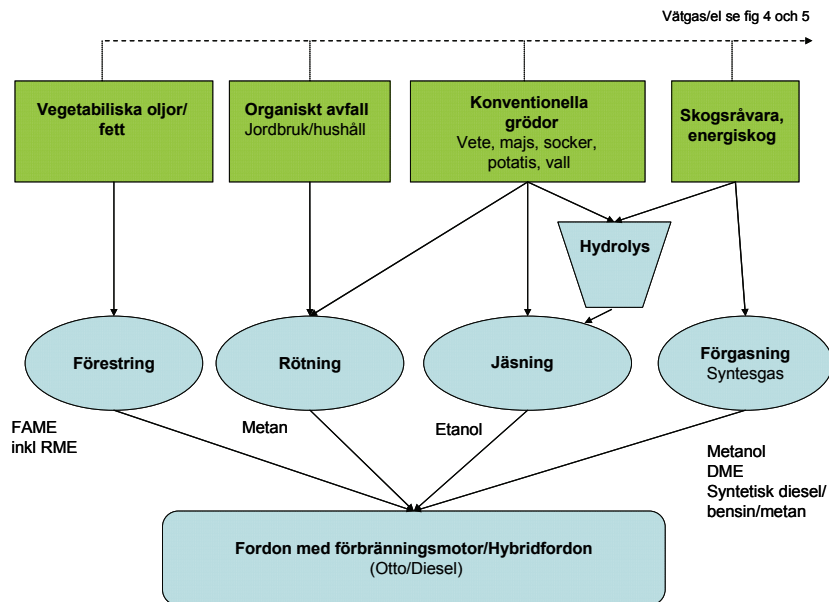
En expansion av biodrivmedel är en möjlig väg för att minska utsläppen av växthusgaser från transportsektorn. Det är också en inriktning som gynnas idag i Sverige genom de paket av styrmedel som riktats mot just detta område. På EU-nivå finns existerande och kommande direktiv som föreskriver andelar förnybar energi i transportsektorn vilka huvudsakligen förväntas fyllas upp av biodrivmedel. Utan kraftfulla ekonomiska styrmedel är det osannolikt att biodrivmedel under överskådlig tid ska kunna konkurrera med de fossila bränslena.

Det finns ett stort antal möjliga produktionsvägar för biodrivmedel, se Figur 3. Idag dominerar globalt etanolproduktion från konventionella grödor som sockerör, spannmål och majs samt dieselbränslen från olika vegetabiliska oljor

---

<sup>63</sup> Idag motsvarar kolproduktionen inom OECD Europa endast knappt 60% av konsumtionen. Denna andel bedöms av IEA minska till under 50% för år 2030. Motsvarande självförsörjningsgrad för olja är cirka 35% idag vilket enligt IEA förväntas minska till 17% 2030.

(FAME).<sup>64</sup> För framtiden förväntas så kallade andra generationens drivmedel producerade från cellulosa genom förgasningsteknik (metanol, dimetyler (DME), syntetisk metan (SNG), diesel och bensin) eller utvecklad etanolteknik vara de viktigaste alternativen. Även vätgas kan produceras från biobränslen genom förgasning, se avsnitt 4.3.



Figur 3: Ett urval möjliga bränslekedjor för biomassebaserade drivmedel. Biomassebaserad vätgas och elektricitet redovisas inte här utan i avsnitt 4.3 respektive 4.4. FAME= Fatty-acid methyl esters. RME=Rapsmetylester är en variant av FAME.

En stor fördel med biodrivmedel är att, med mindre anpassningsåtgärder, samma typ av fordons- och distributionssystem som för bensin och diesel kan användas. Möjligheterna att kombinera biodrivmedel och konventionella drivmedel genom låginblandning eller flexifuelfordon förenklar också en introduktion av biodrivmedel. Utnyttjande av konventionella grödor för produktionen innebär också att inte någon större omställning måste ske i producentledet. Jämfört med de alternativ som diskuteras i kommande avsnitt, vätgas och elektricitet, är flytande biodrivmedel ur användarsynpunkt att föredra eftersom de är enkla att både lagra och transportera. En särskild konkurrensfördel i det sammanhanget har biodriv-

<sup>64</sup> Ofta används begreppet biodiesel synonymt med FAME även om biodiesel även kan innefatta bränslen som inte är metylestrar.

medel inom flygsektorn där viktaspekter är särskilt betydelsefulla och där vätgas och el har nackdelar på grund av tunga lagringsmedia.

För att biodrivmedel ska bidra till betydande utsläppsminskningar av växthusgaser ur ett livscykelperspektiv är det viktigt insatserna av fossil energi är begränsade och att den uppbundna mängden kol (C) i mark och växande biomassa inte frigörs till atmosfären, sett i ett längre perspektiv. Flera av dagens alternativ som baseras på konventionella jordbruksgrödor leder till begränsade minskningar av utsläppen<sup>65</sup> och hoppet står i flera fall till de så kallade andra generationens drivmedel. Dessa har i allmänhet förutsättningar till avsevärt lägre livscykelutsläpp av växthusgaser än drivmedel från konventionella grödor med undantag av tropisk etanol från sockerrör.<sup>66</sup>

Även om det finns en stor potential att öka biomassanvändningen både inom EU och globalt skulle en kraftig expansion av biodrivmedel försvåras av de trots allt begränsade tillgångarna. Biomassetillgången begränsas primärt av markens produktivitet och de mängder biomassa som kan tas ut utan att kolförråden i mark och växande biomassa töms eller den biologiska mångfalden hotas. Konkurrens kan också förväntas uppstå mellan efterfrågan på mat, fiber och energi. Inom energiområdet finns en klar konkurrenssituation mellan användningen för värme- och elproduktion och produktion av biodrivmedel. För cellulosebaserade bränslen visar forskningen att det är mer effektivt att använda biobränslena för värme- och elproduktion än för produktion av biodrivmedel om syftet är att minska utsläppen av växthusgaser.<sup>67</sup> Detta gäller så länge biodrivmedlen ersätter petroleumbränslen. Om alternativet som ersätts i stället är syntetiska flytande bränslen från kol är det lika resurseffektivt att använda biomassan för biodrivmedelsproduktion.<sup>68</sup>

Ovanstående är orsaken till att flytande biodrivmedel får en mycket begränsad roll i transportsektorn i flera av de globala scenarierna för utsläppsminskning av växthusgaser som tagits fram. En högre lönsamhet för biobränslen i el- och värmesektorn leder till att den begränsade biobränsleresursen huvudsakligen dirigeras till detta område och det krävs kraftiga subventioner som motiveras av något annat än minskade växthusgasutsläpp för att biomassan ska användas för biodrivmedelsproduktion. Kravet på 10 % förnybara drivmedel i transportsektorn i det kommande förnybarhetsdirektivet är ett exempel på en sådan styrning med flera syften utöver klimataspekten. En annan orsak till att mer biodrivmedel skulle kunna komma till användning i transportsektorn skulle kunna vara att konsumenterna i transportsektorn i större grad än i andra sektorer skulle vara

---

<sup>65</sup> Se t ex IEA (2004), Kahn-Ribero m.fl. (2007) och Börjesson m.fl. (2008).

<sup>66</sup> Se t ex Börjesson m.fl. (2008) och Kahn-Ribero m.fl. (2007).

<sup>67</sup> Se t ex Gustavsson m.fl. (1995).

<sup>68</sup> Se Börjesson m.fl. (2008).

beredd att betala ett högre pris för biodrivmedel än för konventionella drivmedel. Än så länge har en sådan effekt inte kunnat iakttas i någon större grad.

För att biomasseresurserna ska kunna räcka till en relativt stor del av energibehovet i transportsektorn krävs betydande effektiviseringar i både transportsektorn och övriga energisektorer samtidigt som alternativa tekniker för el- och värmeproduktion utvecklas vilket skulle kunna frigöra biomassa för biodrivmedelsproduktion.<sup>69</sup>

Förutsättningarna att producera biobränslen varierar kraftigt mellan olika länder. Faktorer av betydelse är bland annat befolkningstäthet, solinstrålning, vattentillgång mm. Idag baseras en stor del av EU:s användning av etanol på brasiliansk etanol från sockerrör. Hög produktivitet vid odling av sockerrör, relativt sett enkel utvinning av etanol direkt från socker samt låga arbetskraftskostnader bidrar till att den brasilianska etanolen konkurrerar ut inhemskt producerad etanol.

Det krävs relativt lite energi i förhållande till den transporterade energin för att transportera högt förädlade biobränslen även långa sträckor och kostnaderna är överkomliga. Detta gör att en global biobränslemarknad är möjlig och förmodligen nödvändig i framtiden eftersom produktionsförutsättningarna och efterfrågan skiljer sig åt mellan olika länder.

Jämförelser mellan olika EU-länder visar på väldigt olika förutsättningar för biobränsleproduktion vilket talar för en ökad handel med biobränslen om ambitionerna i de olika länderna vad gäller utsläppsminskningar skärps på liknande sätt. Idag är det framför allt de skogrika länderna som Sverige och Finland som har stor potential per capita för biobränsleproduktion men med ökad användning av jordbruksmark för biobränsleproduktion kan länder som t ex Frankrike och Danmark växa fram som länder med stor produktion per capita. Tyskland, Storbritannien och Beneluxländerna bedöms dock ha en fortsatt låg produktionspotential per capita även i det fallet.<sup>70</sup> För svensk del innebär detta att biobränslen, som man eventuellt räknat med för biodrivmedelsproduktion i Sverige, kan efterfrågas och betalas bättre för, till exempel för förbränning i stationära anläggningar på kontinenten.<sup>71</sup>

### 4.3 Vätgassystem

Vätgas produceras idag till största delen från naturgas men kan produceras på många olika andra sätt, se Figur 4. Förgasning av såväl fossila bränslen som biobränslen är möjliga alternativ. Processen kan såväl vid utnyttjande av fossila

---

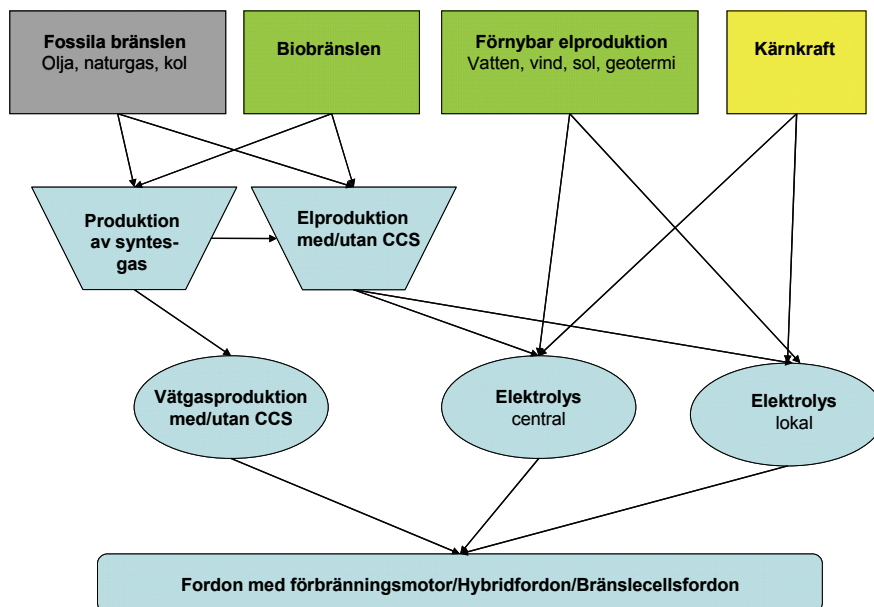
<sup>69</sup> Se t ex Johansson (1996).

<sup>70</sup> Se t ex Ericsson och Nilsson (2006).

<sup>71</sup> Jfr t ex diskussion i Johansson (1996).

bränslen som av bibränslen kombineras med CCS vilket möjliggör mycket låga koldioxidemissioner vid användning av fossilbaserad vätgas, och negativa utsläpp vid användning av CCS i samband med bibränslen.<sup>72</sup> Teknik för CCS bedöms av IEA vara kommersiellt tillgänglig efter 2020. Ett avgörande villkor för att CCS ska kunna vara miljömässigt acceptabel är att permanensen i lagringen av koldioxid kan säkerställas.

Ett annat produktionsspår för vätgas är genom elektrolys där elen kan omvandlas till vätgas antingen i centrala storskaliga anläggningar eller lokalt nära konsumenterna. De koldioxidutsläpp som kopplas till användningen av sådan vätgas beror av vilken el som används för produktionen. Om det huvudsakligen är el från förnybara energikällor (såväl från bioenergi, vind, sol eller vågkraft) eller kärnkraft som används för produktionen kan mycket låga livscykelutsläpp uppnås medan produktion huvudsakligen baserad på el från fossila bränslen utan CCS ger avsevärt högre utsläpp än dagens petroleumbränslen.<sup>73</sup> Andra tekniker för att producera vätgas som är under utveckling är sådana som direkt utnyttjar solenergi för att splittra vatten samt fotobiologiska processer.<sup>74</sup>



Figur 4: Möjliga energikedjor för vätgas i transportsektorn.

<sup>72</sup> Se t ex Azar m.fl. (2006).

<sup>73</sup> Se t ex Concawe m.fl. (2007), Östensson m.fl. (2009)

<sup>74</sup> Se IEA (2008b).

Det finns med andra ord en stor uppsättning möjliga energislag och tekniska lösningar som kan användas för att producera energibärande vätgas med låga växthusgasutsläpp. Vissa av alternativen, t ex produktion av solbaserad vätgas har mycket stor potential men har problem med jämförelsevis höga produktionskostnader. Om 1-2% av jordens yta skulle användas för vätgasproduktion med hjälp av elektrolys och solceller skulle en energimängd motsvarande den totala prognostiserade globala energianvändningen 2050 kunna produceras.<sup>75</sup> Jämfört med att utnyttja solenergi via biobränslen är direkt omvandling av solenergi till el eller vätgas avsevärt mer energieffektiv<sup>76</sup> samtidigt som konflikten om markresurserna kan bedömas vara mindre eftersom biologiskt icke-produktiva områden som öknar, byggnader etc. kan utnyttjas.

Eftersom förutsättningarna för produktion av solbaserad vätgas är bäst i soliga delar av världen talar mycket för att en eventuell sådan storskalig produktion kommer att koncentreras till sådana områden. Det kan förväntas skapa nya energihandelsmönster mellan solrika och mindre solrika delar av världen. Exempel på transportalternativ som diskuteras är via pipeline alternativt med tankfartyg.

Vätgas kan användas i konventionella förbränningsmotorer men i de flesta studier som ser vätgas som ett långsiktigt centralt alternativ utgår man i stället från den högeffektiva användning som skulle kunna vara möjlig via bränsleceller.<sup>77</sup> Fortfarande är bränsleceller inte kommersiellt tillgängliga och det är oklart när så blir fallet.

För en spridning av vätgas i större skala finns två huvudsakliga kritiska punkter. Den ena är lagringsproblematiken och den andra är bristen på infrastruktur för distribution av drivmedlet.

Det finns ett flertal metoder för att lagra vätgas i fordon men samtliga är mer skrymmande och kostsamma än motsvarande system för flytande bränslen. Vissa av dem som till exempel lagring (och långväga transporter) i form av flytande vätgas innebär också stora energiförluster.

För att möjliggöra en storskalig användning av vätgas kommer det att krävas en utbyggnad av ett ledningsnät för vätgas. Utnyttjas CCS för produktion av vätgas krävs även ledningsnät för transport av CO<sub>2</sub> till lämpliga lagringsplatser. Detta kommer att erfordra stora investeringar vars ekonomi initialt kan var svåra att motivera på grund av en begränsad efterfrågan på vätgas. I avsnitt 4.3.1 redovisas kortfattat hur det EU-finansierade forskningsprojektet Hyways ser på en möjlig implementeringsstrategi.

---

<sup>75</sup> Gröndalen (1998), WEA (2000).

<sup>76</sup> Se t ex Gröndalen (1998),

<sup>77</sup> Hög effektivitet kan även nås även i hybridfordon med förbränningsmotor.



Vätgas har även diskuterats för användning i flygtransporter. Bland annat IEA (2008b) gör dock bedömningen att vätgas inte är ett särskilt lovande alternativ där. En viktig orsak är att lagringen av vätgas förväntas leda till en ökning av vikten på ett kommersiellt flygplan med cirka 10 %. För flygtransporternas energianvändning spelar vikten en mer betydelsefull roll än för landtransporter.

### 4.3.1 Utvecklingsscenariot Hyways

I forskningsstudien Hyways<sup>78</sup>, beställd av EU-kommissionen, presenteras en strategi för introduktion av vätgas inom EU i ett 40-års perspektiv. En generell slutsats som drogs i projektet var att ett vätgasbaserat Europa kommer att behöva baseras på en uppsättning av olika energikedjor. Till en början kommer man att vara beroende av existerande biprodukter, ångreformerings av metan och decentraliserad elektrolys. Frammot 2050 bedöms att produktionsportföljen breddas genom centraliserad elektrolys, termokemiska processer baserad på förnybar energi, och andra koldioxidsnåla källor som kol och naturgas med CCS och kärnkraft.

En eventuell utveckling av ett vätgasbaserat transportsystem kommer enligt Hyways plan att ske över en relativt lång period. Kommersialiseringen påbörjas efter 2015 och endast några tusen fordon bedöms finnas i Europa kring 2015. Vätgas och bränsleceller bedöms vara konkurrenskraftiga runt 2030 då de kan ta cirka 20 % av nybilsflottan. Frammot 2050 bedöms vätgasbaserade bränslecellsfordon helt dominera marknaden och 80 % av fordonsflottan bedöms vara drivna med koldioxidfri vätgas.

Den kritiska uppbyggnaden av vätgasinfrastruktur bedöms av Hyways ske stegvis. I en första fas med låg penetration av vätgasfordon utgår man från ett fåtal användningscentrum spridda över Europa. I ett nästa steg, den tidiga kommersialiseringsperioden, ökar antalet användningscentra till 3-6 stycken per medlemsland (motsvarande 10 000 – 50 000 fordon på EU-nivå). Utöver detta ser man också framför sig ett möjligt nätverk av korridorer (så kallade HyWays) mellan de centra som kan försörjas med vätgas. Under den tredje fasen som motsvarar fullskalig kommersialisering sker en utveckling till flera regioner och att ett tätt lokal- och långdistans nät för vätgas bedöms ha skapats runt 2030. I slutet av fas 3 bedöms 85-100% av befolkningen ha tillgång till vätgas.

Produktionsmixen för vätgasproduktionen är i Hyways scenarierna blandad där såväl förnybar energi som kol och naturgas kombinerat med CCS svarar för betydande andelar. Även kärnkraft är en viktig produktionskälla. I det scenario som utgår från att EU:s totala utsläpp av CO<sub>2</sub> ska minska med 35 % mellan 1990 och 2050 dominerar biobränslen bland de förnybara källorna men i det scenario där man antar en reduktion med 80 % krymper andelen biobränslen på grund av

---

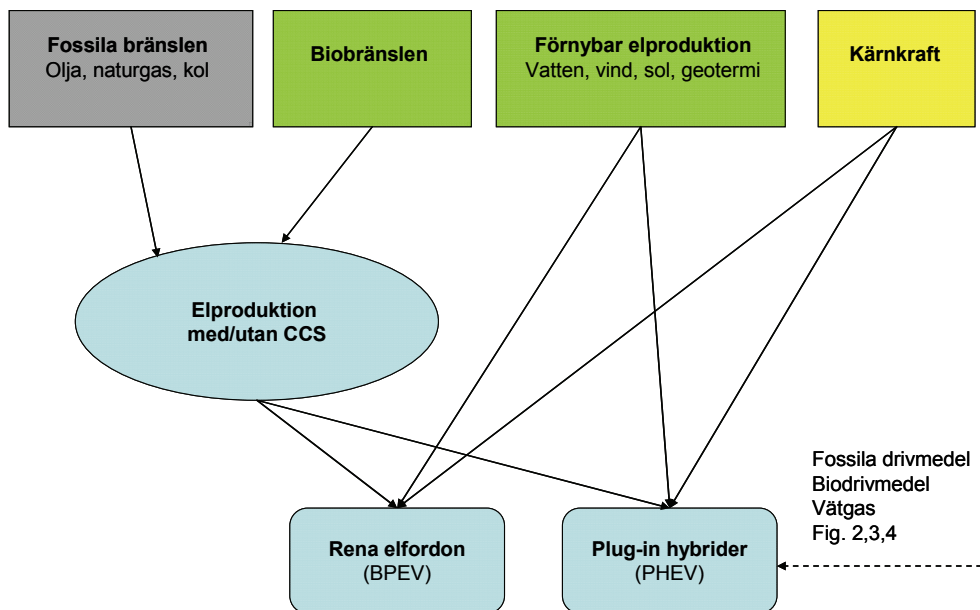
<sup>78</sup> Hyways (2008).

förväntad ökad efterfrågan i andra sektorer än transportsektorn och i stället blir vindkraft den helt dominerande källan för förnybara källan för vätgasproduktion.

#### 4.4 Elektrifiering av transportsystemet

Under lång tid har elfordon lyfts fram som ett intressant alternativ för att bidra till effektiv energianvändning inom transportsektorn men någon större spridning har tekniken inte fått utanför den spårbundna trafiken. Den förväntade höga energieffektiviteten beror både på en hög effektivitet i elmotorn och en möjlighet att återföra bromsenergi till fordonets batterier så att denna kan användas vid senare tillfälle.

El är liksom vätgas en energibärare som kan produceras från ett stort antal primärenergikällor såväl fossila, förnybara som kärnkraft, se Figur 5. Precis som i vätgasfallet förväntas CCS vara ett möjligt alternativ efter 2020 vilket ger ett stort antal möjligheter att producera el med låga koldioxidutsläpp. Möjligheten till avkarbonisering av elproduktionen bedöms som relativt stor och IEA (2008a) ser en total avkarbonisering som en reell möjlighet för 2050. Att utnyttja elsystemet som ett verktyg för att avkarbonisera transportsektorn är därmed också en rimlig möjlighet.



Figur 5: Möjliga energikedjor för elektricitet i transportsektorn.

Den totala miljöeffekten av användningen av elfordon är helt beroende av hur elen produceras. Idag varierar dock elsystemets struktur stort mellan olika länder och därmed ett elfordons påverkan på klimatet, se Figur 6.<sup>79</sup> Medan till exempel fossila bränslen svarar för mindre än 10 % av elproduktionen för länder som Frankrike och Sverige domineras elproduktionen i Polen helt och hållet av kol. I EU-27 är andelen fossila bränslen strax över 50 %. Den pågående integrationen av Europas elsystem innebär dock att miljöeffekten av ytterligare ett fordon inte direkt beror av det enskilda landets elsystem utan av effekten på det integrerade systemet. Om miljöeffekten av en betydande expansion av elfordon ska bedömas bör också hänsyn tas till vilken utbyggnad av elproduktionen som eventuellt behöver ske som en följd av expansionen av fordonsflottan. För den bedömningen behöver även hänsyn tas till möjligheterna att minska elbehovet i andra delar av samhället, till exempel i bostäder.<sup>80</sup>

Det stora problemet med att införa fordon med enbart eldrift är svårigheterna att lagra stora mängder el i batterier eller med andra energilagringssystem. Det är både frågan om ett rent fysiskt lagringssystem och en kostnadsfråga. Av denna orsak kombineras elsystemen i många fall med en förbränningsmotor i så kallade hybridfordon vilka kan tillvarata vissa av de effektivitetsvinster som beräknats för eldrift. Dagens kommersiella hybridfordon kan dock inte utnyttja el direkt från nätet men utvecklingen av så kallade plug-in-hybrider pågår på många håll. Det första plug-in fordonet på marknaden blev i december 2008 den kinesiska BYD.<sup>81</sup> Andra företag såsom Toyota, och GM har planerat lansering av plug-in hybrider under de kommande åren.<sup>82</sup> Bedömningar har gjorts att plug-in-fordon skulle kunna ta uppemot 50-75%<sup>83</sup> av sitt energibehov från nätet. Resten skulle kunna täckas från fossila bränslen, biodrivmedel eller vätgas. Om plug-in-tekniken får genomslag innebär det med andra ord att transportsektorn kommer att få parallella energitillförselssystem, dels ett elbaserat, dels ett bränslebaserat.

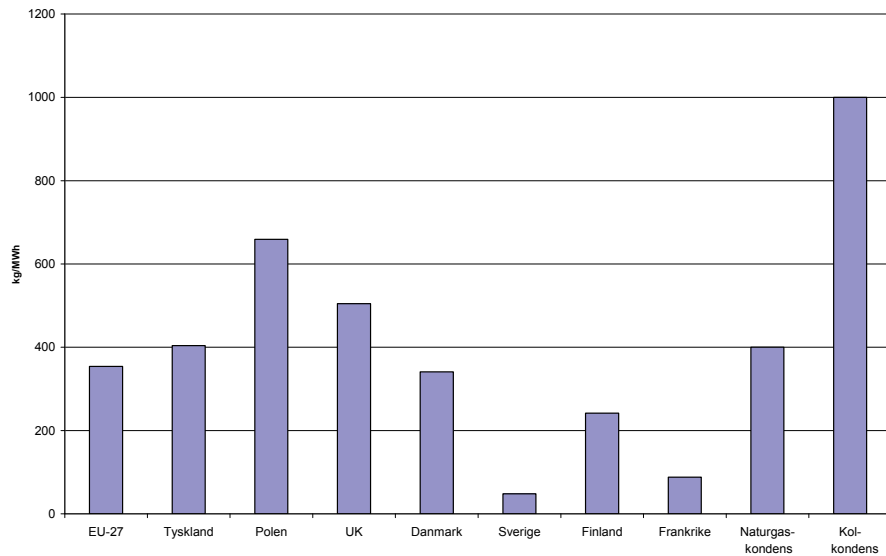
<sup>79</sup> I den internationella statistiken redovisas inte el- och värmeproduktion inom energiindustrin separat vilket innebär att man inte ur figuren kan läsa ut exakta specifika utsläpp av koldioxid från enbart elproduktion. För de flesta länder ger det dock en god bild av koldioxidintensiteten i elsystemet.

<sup>80</sup> Som exempel användes år 2006 22 TWh av elen för uppvärmning av byggnader i Sverige vilket inte är ett energieffektivt utnyttjande av en högkvalitativ energibärare som el (om inte värmepumpar används som utnyttjar den höga kvaliteten för att öka värmeutbytet). Denna mängd skulle med marginal räcka för att täcka samtliga personbils energibehov, jfr diskussion i Johansson och Mårtensson (2000) och Energimyndigheten och Naturvårdsverket (2007e).

<sup>81</sup> <http://www.bloomberg.com/apps/news?pid=20601209&sid=aUEEIdi9hgg>

<sup>82</sup> <http://uk.reuters.com/article/technologyNews/idUKN0937759520071110?sp=true>

<sup>83</sup> Jfr t ex Karlsson och Ramirez (2007).



Figur 6: Genomsnittliga koldioxidutsläpp per producerad mängd el och värme i centrala anläggningar i ett urval EU-länder samt för en kolbaserad respektive naturgasbaserad kondenskraftsanläggning.<sup>84</sup>

En fördel med elfordon ur ett distributionsperspektiv är att stora delar av infrastrukturen redan finns tillgänglig även om den kan komma att behöva förstärkas vid en stor expansion.<sup>85</sup> Smarta system kan på sikt göra så att elfordonen interagerar med elsystemet som lastutjämnare genom att de laddas upp när efterfrågan är låg och kan leverera el till systemet vid hög efterfrågan eller låg tillgänglighet i elproduktionen.<sup>86</sup> Det senare kan vara särskilt viktigt om mängden intermittent el såsom sol- och vindel ökar.<sup>87</sup>

Elförsörjningen är som redan nämnts integrerad regionalt. Enligt Energimyndighetens långsiktsprognois från 2007 bedöms Sverige vara en betydande nettoexportör runt 2020. Även mer långväga elleveranser kan vara möjliga. En möjlighet som bland annat analyserats i Tyskland<sup>88</sup> är förutsättningarna att importera solex från Nordafrika till de centraleuropeiska elsystemen. Det uppskattas att vara möjligt att importera 700 TWh solex per år från Mellanöstern och

<sup>84</sup> Specifika utsläpp från anläggningar från IEA(2008c) och typemissioner för naturgas och kol från Energimyndigheten (2008b).

<sup>85</sup> En diskussion kring dessa frågor finns bl a i Johansson och Mårtensson (2000).

<sup>86</sup> Se t ex James (2006).

<sup>87</sup> Se t ex Kempton och Dhanju (2005) och Kempton och Tomic (2005).

<sup>88</sup> German Aerospace Centre (2006).

Nordafrika runt 2050 vilket skulle motsvara knappt 20 % av elbehovet som i scenariot i övrigt domineras av förnybar energi producerad i Europa.

## 4.5 Likheter och skillnader mellan systemen

Systemen i de fyra utvecklingsvägarna ovan skiljer sig på flera sätt men vissa har också avsevärda likheter med varandra. Framför allt finns det klara likheter mellan biodrivmedel och dagens system med flytande fossila drivmedel och mellan vätgas- och elsystemet.

De främsta likheterna mellan systemet med flytande biodrivmedel och de fossila drivmedlen är i form av användningsteknik och distribution. För båda alternativen är förbränningsmotorn ett fortsatt huvudalternativ antingen som ensamt drivsystem men kanske med större sannolikhet integrerat med ett elektriskt drivsystem i någon form av hybrid. Lagringen av bränslet i fordon kommer också att se i princip likadant ut även om den lägre energitätheten hos etanol eller metanol kan kräva något större volymer för samma räckvidd – ökad energieffektivitet kan dock hindra att detta kommer att leda till större lagringsvolymer än idag. Utvecklingen av flexifuel-fordon innebär också att de två systemen kan fungera utomordentligt väl tillsammans. Distributionssystemen för flytande biodrivmedel och flytande fossila drivmedel är också i princip desamma.

En ytterligare likhet mellan de två systemen är att de är baserade på kolväten och att det därmed släpps ut koldioxid vid förbränningstillfället. Det innebär att systemen inte är förenliga med CCS och möjligheterna att använda sig av fossila bränslen med låga koldioxidutsläpp är därmed inte möjlig och inte heller att utnyttja biobränslen med CCS som en koldioxidsänka.<sup>89</sup>

Vätgasfordon och elfordon har i sin tur gemensamma problem vad gäller lagring av bränslet i fordon. För båda är lagringen såväl kostsam som skrymmande. Varken för vätgas eller elektricitet uppkommer några koldioxidutsläpp vid den slutliga användningen i fordonet. Det möjliggör en avkarbonisering av både fossila bränslen som biobränslen vilket kan vara centralt för att klara mycket låga utsläpp i samhället.<sup>90</sup>

Eftersom ett av huvudalternativen för produktion av vätgas är genom elektrolys, är vätgas och el delvis utbytbara. För fordonsdrift innebär dock alternativet att gå via vätgas stora energiförluster.<sup>91</sup> Den stora fördelen med vätgas jämfört med el

<sup>89</sup> Med koldioxidsänka menas här en aktivitet som bortför koldioxid från atmosfären.

<sup>90</sup> Azar m.fl. (2006) uppskattar till exempel att kostnaderna för att nå ett mål att stabilisera koldioxidkoncentrationen på en nivå motsvarande 450 ppm CO<sub>2</sub> kan reduceras med 42% om det är möjligt att utnyttja CCS både för fossila bränslen och biobränslen jämfört med om CCS inte är tillgängligt. För en stabilisering på 350 ppm är kostnadsvinsterna ännu större eller cirka 80%.

<sup>91</sup> Åhman (2001).

är lagringsbarheten och dess bättre möjligheter att transporteras långa sträckor, till exempel från solrika länder.

Både elfordon och vätgasfordon som utnyttjar bränsleceller skulle i princip kunna integreras med elsystemen och fungera som buffertar för att utnyttja lastvariationer. Värt att notera är att flytande kolväten som metanol och bensin skulle kunna utnyttjas i bränslecellsfordon där de fungerar som vätelager.

Även om det finns stora likheter mellan system baserade på elfordon och system baserade på vätgasfordon finns en skillnad med stor betydelse för en expansion då, för elfordon, ett välutvecklat distributionssystem redan existerar även om det behöver kompletteras med laddningsutrustning och eventuellt, beroende på hur lastprofilen påverkas vid storskalig användning, med en förstärkning av nätet. För vätgas saknas ett storskaligt distributionsnät vilket kan vara ett viktigt hinder för en expansion.

Ovan diskuterade biodrivmedel och fossila drivmedel har framför allt rört flytande kolväten. Gasformiga kolväten såsom fossil metangas (naturgas), biogas och syntetisk biomassebaserad metangas är dock också lämpliga som drivmedel för ottomotorer och har jämfört med de flytande bränslena mycket bra förutsättningar för låga emissioner av föroreningar med lokal- och regional miljöpåverkan. Produktionen av biometan genom förgasning av fasta biobränslen har också högre energiverkningsgrad än flytande biobränslealternativ som metanol och etanol.<sup>92</sup> Dimetyleter (DME) är ett gasformigt drivmedelsalternativ som är särskilt lämpligt för användning i dieselmotorer.

Gasformiga kolväten har något sämre förutsättningar för lagring i fordon än flytande drivmedel men möter inte alls samma problem som vätgas. Distribution av metangas sker i allmänhet i ledningsnät även om leveranser med tankbåt och lastbil som flytande metangas är möjlig. Det finns inget som hindrar ett gemensamt distributionssystem för fossil metangas och biobaserad metangas. I Europa är naturgasnätet välutbyggt i många länder medan utbyggnaden i Sverige är koncentrerad i västra och södra Sverige vilket skulle försvåra en spridning. Det finns också en koppling mellan möjligheterna att öka användningen av vätgas och användningen av metangas eftersom vätgas i viss grad kan distribueras i distributionssystem för metangas och också användas åtminstone i upp till 20-25% inblandning i metangas.<sup>93</sup>

En likhet mellan flera av systemen ovan är att de kan använda biomassa som råvara. I utvecklingsvägen biodrivmedel har vi koncentrerat oss på kolväten från biomassa eftersom det är de som dominerar idag och i de flesta biodrivmedels-scenarier. Omvandling till vätgas och el är som tidigare diskuterats också energieffektiva sätt att utnyttja biomassa för transportändamål.

---

<sup>92</sup> Åkerman och Åhman (2008).

<sup>93</sup> Se t e Karlsson (2001) och Jönsson (2006).

## 5 Möjliga åtgärder för att begränsa energianvändningsnivån i transportsektorn

Storleken på transportsektorns energianvändning är av betydelse för möjligheterna till en robust och miljömässigt acceptabel energiförsörjning för sektorn. Det finns flera strategier för att begränsa densamma utan att den nytta transporten syftat till behöver minska.

Det finns fortfarande stora potentialer att reducera fordonens specifika energianvändning (MJ/km) med tekniska åtgärder. Historiskt har sådana åtgärder delvis ätits upp av ökad fordonsstorlek och prestanda. Andra möjliga åtgärder är effektivisering av själva transporten genom förbättrad transportplanering. Åtkomst av önskad nytta kan ske med minskad mängd transporter genom förändrade bebyggelsemönster och nya former för förvärsarbete.

I detta avsnitt diskuteras och problematiseras möjliga åtgärder, såväl tekniska som beteendemässiga, för att minska transportsektorns energianvändning. I detta sammanhang är variablerna *nytta*, *tillgänglighet*, *fordons-km*, *person-km*, och *ton-km* lämpliga utgångspunkter.

En transport genomförs för att få något slags utbyte. Om transportsektorn betraktas som ett system som levererar tjänster till individer, hushåll, företag och andra organisationer så är det *nyttan* som följer av dessa tjänster som användarna egentligen vill åt. Det handlar om att skapa *tillgänglighet* till olika funktioner, dvs. att tillgodose olika behov, exempelvis tillgänglighet till arbetsplatsen för att kunna försörja sig, att införskaffa livsmedel, rekreation eller social interaktion. För att tillgodose dessa behov behöver vi flytta oss, eller produkter, vissa sträckor. Med andra ord, transportsystemet producerar tjänsten i form av ett antal *person-km*, eller *ton-km*, för att skapa tillgänglighet till den nytta som möter våra behov. Detta görs med olika färdmedel (eller transportmedel när gods avses), så när vi betraktar systemet utifrån är det snarare *fordons-km* (eller motsvarande) som produceras. Dessa kan förknippas med viss energianvändning som bland annat beror på fordonsstorlek, prestanda och tekniska lösningar. Denna energianvändning kan i sin tur förknippas med visst behov av energitillförsel, kostnad och miljöbelastning.

Transporterna möjliggörs av infrastruktur i form av nätverk och noder samt tillgång till fordon, vagnar, flygplan och fartyg. Att bygga och underhålla dessa 'fasta poster' i transportsystemet bidrar till transportsektorns energianvändning på ett sätt som bara delvis är kopplat till hur mycket vi transporterar oss.

## 5.1 Tekniska förbättringar och byte till effektivare fordon

När rent tekniska åtgärder diskuteras tas fordons-km för olika transportslag i allmänhet för givna och i detta avsnitt antas transportsystemet se ut ungefär som idag vad gäller fördelning mellan privat- och kollektivtrafik samt fördelning av godstransporterna på olika transportslag, liksom transportvolym i form av fordons-km (eller motsvarande, t.ex. vagnkm, flygkm, fartygskm).

Hur kan vi leverera dessa fordonskm med så liten energianvändning som möjligt? Det handlar primärt om att effektivisera befintlig teknik, t.ex. att optimera drivlinor eller att minska fordons- eller farkostvikten och att introducera nya tekniska lösningar som bränsleceller eller kompositmaterial. De senaste decennierna har många forskningsstudier<sup>94</sup> liksom studier gjorda av fordonsindustrin<sup>95</sup> påvisat stora effektiviseringspotentialer. I underlagsmaterialet till IPCC:s senaste rapportering bedöms till exempel den specifika energianvändningen i nya fordon i Europa kunna minskas med 40-70% fram till 2030.<sup>96</sup>

Tekniska förbättringar har dock bara fått begränsat genomslag i minskad specifik energianvändning. Teknikutvecklingen för personbilar har i stället främst använts för att förbättra acceleration, toppfart och för att kunna tillföra serviceattribut som t.ex. luftkonditionering och ökat passagerarutrymme. En studie som följt utvecklingen av den svenska personbilsflottan mellan 1975 och 2002 visar att av alla tekniska förbättringsåtgärder som implementerats under perioden har endast 35 % av dem bidragit till mer energieffektiva fordon.<sup>97</sup>

När det gäller godstransporter via lastbil finns också viss effektiviseringspotential<sup>98</sup>, men den är inte lika stor som för personbilar. Företagsekonomiska incitament har bidragit till att lastbilarna blivit relativt sett mer bränsleeffektiva än personbilar.

Inom flyget är bränslekostnaden en stor del av totala kostnaden vilket ger incitament för energieffektivisering. Denna har historiskt varit 1-2% per år.<sup>99</sup> Samtidigt är flygbränsle relativt billigt, jämfört med bränsle för andra transportslag, eftersom det är skattebefriat. Dessutom är hastighet en viktig konkurrensfördel (både avseende personer och gods). Både dessa faktorer motverkar

<sup>94</sup> T.ex. Lovins m.fl. (1993), Michaelis and Davidson (1996), Duleep (1997), Johansson (1998), Åhman (2001), Kahn-Ribero m.fl. (2007).

<sup>95</sup> T.ex. Daimler-Benz: Willand (1996), Ford: Kinsey (1995)

<sup>96</sup> Kahn-Ribero m.fl. (2007)

<sup>97</sup> Sprei m.fl. (2008)

<sup>98</sup> Se t.ex. Åkerman och Höjer (2006) och Åhman och Nilsson (2007)

<sup>99</sup> IPCC (1999).



minskad energianvändning per flyg-km.<sup>100</sup> Potentialen att förbättra energieffektiviteten i framtiden är å andra sidan stor.<sup>101</sup>

Det finns även en stor potential att minska energianvändningen genom alternativa val av fordon inom befintlig marknad. Så uppskattas det till exempel vara möjligt att minska energianvändningen med 20 % genom att välja den mest effektiva bensinfordonet i samma storleksklass. Genom att gå ner en storleksklass och välja det mest effektiva fordonet blir minskningen i stället 30 %. En övergång från bensin till diesel kan därutöver leda till en minskad energianvändning motsvarande 20 %.<sup>102</sup>

## 5.2 Optimerat användande av befintlig teknik, samt byte av transportmedel

I detta avsnitt utgår vi från att transportvolymen i termer av personkm och tonkm bibehålls men att antalet fordons-km (eller motsvarande) minskar. Därigenom minskar den totala energianvändningen.

För godstransporter kan detta som ett första steg ses som ett enkelt optimeringsproblem. Det handlar om att öka lastfaktorn för lastbils-, godstågs-, flyg- och fartygstransporter och att undvika 'tomma körningar'. För detta finns naturligtvis redan företagsekonomiska incitament i form av befintliga transportkostnader men för att dessa ska bli ännu starkare är en given åtgärd att införa styrmedel som påverkar priset ytterligare. Nästa logiska steg är att överföra gods från mindre energieffektiva (kWh/tonkm) transportmedel till mer effektiva. Även här kan ekonomiska styrmedel bidra men också infrastrukturinvesteringar som kan bidra med exempelvis mer finmaskiga nätverk, ökad hastighet, dual-mode-lösningar för att stimulera överföringen.

För persontransporter är bilden mer komplex eftersom inte bara ekonomi är relevant utan det krävs även beteendeförändringar (som inte bara styrs av ekonomi). Även här handlar det i första hand om att öka lastfaktorn – dvs. minimera antalet fordons-km (eller motsvarande) per person-km. Om vi utgår från ett "extremt" utgångsvärde med en person per en bil så bidrar samåkning till ökad lastfaktor. Nästa steg är överföring från privat- till kollektivtrafik och att även där försöka maximera lastfaktorn, dvs. beläggningen i bussar, tåg mm. Liksom för godstransporter kan ekonomiska styrmedel och investeringar för att öka tillgänglighet och bekvämlighet leda till ökat utnyttjande av energieffektiva transportslag och ökad beläggning, men i större grad än för godstransporter spelar även faktorer

---

<sup>100</sup> Åkerman m.fl. (2000)

<sup>101</sup> Se t ex IPCC (1999, och Åkerman (2005).

<sup>102</sup> Naturvårdsverket (2008).

som vanor, normer och attityder roll, vilket är svårare att påverka med konventionella styrmedel.

### 5.3 Minskad transportvolym men bibehållen tillgänglighet och nytta

Minskad transportvolym leder till minskad energianvändning men för att detta alternativ ska vara attraktivt, eller åtminstone uppfattas som acceptabelt, bör transportsystemets gränser vidgas så att man kan se möjligheterna. Fokus läggs lämpligen på faktorer som tillgänglighet och nytta. Att mäta nyttan i måttet transportvolym kan vara begränsande.

Om man på traditionellt sätt mäter nyttan av de tjänster som transportsystemet producerar i form av transportarbete så innebär förändringar på denna nivå uppföringar. Det finns dock många fall där minskad transportvolym inte innebär minskad nytta. Att transportera sig från punkt A för att få tillgänglighet till något som finns vid punkt B behöver ju inte vara kopplat till en viss transportvolym. Det kanske går att använda en annan färdväg? Det kanske är möjligt att finna samma funktion (t.ex. en livsmedelsbutik) på något annat ställe, som ligger närmare punkt A än vad punkt B gör. Eller också kanske det är möjligt att tillgoda det behov man försöker tillfredställa utan att transportera sig (t.ex. försörjning via distansarbete)?

När det handlar om godstransporter är inte volymen ton-km liktydigt med nyttan, utan snarare volymen av levererade ton till rätt plats. En kortsiktig utveckling på detta förändringsområde kan omfatta tämligen triviala aspekter som att optimera körväg och att göra inköp av andra aktörer på närmare håll. På längre sikt handlar det om mer strukturella förändringar som minskar avståndet mellan producenter och konsumenter. Dagens trend pekar åt motsatt håll.

Att bibehålla nytta med minskade persontransporter kommer att erfordra förändringar gällande stads- och bebyggelsestruktur samt hur boende, arbetsplatser och olika servicefunktioner planeras och placeras i detta rum. Samhälls- och infrastrukturplaneringens roll i detta sammanhang är alltså central, men likaså hur människor organiserar sitt vardagsliv – i både tid och rum.

### 5.4 Några ytterligare aspekter kring minskad energianvändning

Vi konstaterar att olika aspekter hamnar i fokus när man betraktar olika möjliga åtgärder för att minska energianvändningen ur olika perspektiv. Grovt sett innebär utgångspunkt i en viss nivå av fordons-km att fokus hamnar på att *utveckla och välja mer energieffektiv teknik*. Om utgångspunkt tas från en viss nivå på

person-km innebär det att åtgärdsalternativen kan kompletteras med *optimering av användandet av tekniken* samt byte till mer *effektiva sätt att transportera sig* (t.ex. kollektivtrafik). Det är helt klart att potentialen för tekniska effektiviseringar fortsatt är mycket stora och att de är nödvändiga att utnyttja för att kunna skapa ett resurseffektivt och kostandseffektivt transportsystem. De åtgärder som även påverkar transportvolymen kan dock skapa andra positiva synergier utöver energibesparingar genom att de till exempel kan bidra till minskad trängsel, buller och intrångseffekter.<sup>103</sup>

När vi diskuterar minskad transportvolym med bibehållen nytta är vi fullt medvetna om att ”nytta” inte är något absolut begrepp. Utbytet av en resa eller en transport är givetvis en subjektiv upplevelse. Resan i sig kan vara en uppostring för en person medan någon annan ser det som rekreation. Det är givetvis lättare att avstå från önskade, eller strukturellt tvungna<sup>104</sup>, resor, eller ersätta dessa med motsvarande funktion eller kommunikation, jämfört med att avstå önskade resor eller resor med syften som omfattar fysisk närvaro, t.ex. fritidsresor med flyg eller att besöka vänner.

Ett styrmedel som exempelvis drivmedelsskatter kan innebära förändringar inom alla nivåer – men kan ge olika effekt för olika människor, företag och andra organisationer. Någon kanske skaffar sig en mer bränslesnål bil (energianvändning minskar men fordonskm bibehålls). Någon kanske väljer att resa oftare med kollektivtrafik (fordonskm minskar men personkm bibehålls) medan andra väljer att arbeta mer på distans eller att promenera mera (transportvolym minskar men nyttan och tillgängligheten bibehålls). För vissa kommer det att innebära uppostringar i form av t.ex. färre önskade fritidsresor medan andra kommer att lägga mer pengar på transporter, pengar som annars hade kunnat användas för annan konsumtion.

---

<sup>103</sup> Se t ex Litman (2008).

<sup>104</sup> Begreppet ’strukturellt tvungna resor’ t.ex. arbetspendling, lanserades av Steen et al. (1997)

## 6 Avslutande diskussion

Inom EU finns idag en tydlig inriktning mot att minska utsläppen av växthusgaser och öka försörjningstrygghet inom energiområdet. Det nyligen beslutade energi- och klimatpaketet är en viktig del i en sådan strategi. Paketet kommer att ha betydelse för transportsektorns energiförsörjning både genom krav på betydande utsläppsminskningar för sektorer som inte ingår i systemet med handel med utsläppsrätter, och genom de krav på ökad andel förnybara drivmedel som ingår i direktivet om förnybar energi. Direktiven sträcker sig till 2020 och innebär endast ett litet steg på vägen på de mer långsiktiga omställningar som är nödvändiga därefter.

Omställningen av transportsektorns energiförsörjning är en långsiktig process vilket de scenarier som beskrivits i denna rapport visar. Fossila bränslen förväntas dominera i transportsektorn ända framemot 2030 och i flera av scenarierna är det först efter 2050 som nya bränslen och fordonstekniker börjar dominera. Att ett stort genomslag för nya system dröjer innebär dock inte att man kan vänta med att påbörja omställningen. För att driva på teknikutvecklingen, reducera kostnaderna och skapa nya infrastrukturer behöver omställningsarbetet påbörjas redan nu genom införandet av lämpliga styrmedel och investeringar i forskning, utveckling och ny infrastruktur. Ett typexempel för en sådan långsiktig strategi är den som presenterats av Hyways där arbetet med omställning till ett vätgasbaserat transportsystem påbörjas under det närmaste decenniet medan effekterna får fullt genomslag om 40 år.

Slutsatserna om hur ett framtida energisystem för transportsektorn som är förenligt med kraftiga restriktioner på utsläppen av växthusgaser lämpligen ska se ut skiljer sig mellan olika studier. Att en avsevärt högre energieffektivitet än i dag är nödvändig framstår som tydligt men vilken roll som biodrivmedel, vätgas respektive eldrift ska ha skiljer sig åt.

I rapporten har flera olika möjliga utvecklingsvägar för transportsektorns energiförsörjning diskuterats. Vissa av dem, både fortstätt utnyttjande av petroleum eller petroleumliknande fossila bränslen och biodrivmedel, erfordrar relativt små förändringar i hur försörjningssystemet ska utformas och de tekniska riskerna är relativt små. De har dock andra problem. Även om olika fossila resurser skulle kunna finnas tillgängliga i tillräcklig grad för att producera petroleumliknande bränslen under överskådlig tid är det svårt att förena en sådan inriktning med strikta klimatkrav. För biodrivmedel är problemet snarare om tillräckligt stora mängder biobränslen kan produceras inom ramarna för ekologiska restriktioner så att det blir möjligt att använda inte bara i stationära applikationer utan även för drivmedel.

Vätgas och elektricitet har stora fördelar som energibärare eftersom det finns ett stort antal resurser som kan användas och som resulterar mycket låga livscykelutsläpp. Här är problemet i stället att det finns stora osäkerheter kring teknik, inte minst kring lagring av bränslena. En utbyggnad av främst vätgasset innebar också stora initiala investeringar i infrastruktur vilket kan innebära ett stort hinder.

Ett grundläggande problem är de fundamentala osäkerheter som finns om framtida teknikutveckling. Kommer till exempel el och vätgas från solenergi att kunna produceras till konkurrenskraftiga kostnader?<sup>105</sup> Kommer utvecklingen av bränslecellsfordon att bli framgångsrik? Dessa osäkerheter och de långa tidsperspektiven ovan kommer att ställa stora krav på politiska beslutsfattare, eftersom man både måste se till att långsiktiga investeringar kommer till stånd samtidigt som tillräcklig flexibilitet bibehålls för att hantera de osäkerheter som finns kring olika energiförsörjningslösningar. En strategi kan vara att initialt prioritera lösningar som kan vara intressanta oavsett utvecklingsväg, t ex energieffektivisering, elektriska drivsystem och teknik för förgasning av bränslen.

Förutom rent tekniska energieffektiviseringar kan andra åtgärder för att minska energianvändningen vara centrala för att skapa en robust och miljömässig bra energiförsörjning till transportsektorn. Effektivare logistik, val av alternativa färd- och transportmedel och mindre transportintensiva samhällsstrukturer och aktivitetsmönster är exempel på sådana åtgärder. Tydliga kopplingar finns mellan transportsektorn och andra områden som till exempel bebyggelselokalisering och den övergripande ekonomiska utvecklingen. Investeringar i infrastruktur påverkar både omfattning av transportarbetet och fördelningen mellan olika transportslag vilket i sin tur påverkar energianvändningens omfattning. Den kraftiga expansionen av flyg och långväga godstransporter innebär en stark drivkraft för ökad energianvändning som kan försvåra en begränsning av energianvändningen i transportsektorn.

Vi har i rapporten endast berört transportsektorns direkta energianvändning, dvs. den energi som kan relateras till framdrift av fordon (eller motsvarande). En vidgning av perspektivet skulle vara att inkludera ett livscykelperspektiv på de komponenter som ingår i transportsystemet samt de verksamheter som möjliggör transporter. Indirekt energianvändning kopplade till infrastrukturer, fordon och vagnar samt drivmedelsproduktion kan i vissa fall vara lika stor som energianvändningen för själva framdriften.<sup>106</sup>

---

<sup>105</sup> Det är för övrigt inte självklart vad som ska anses som konkurrenskraftiga kostnader i ett 50-årsperspektiv.

<sup>106</sup> Lenzen (1999) uppskattar andelen indirekt energi till 25-65% för persontransporter och 10-50% för godstransporter. Jonsson (2005) antar att den uppgår till drygt 40% för vägtransporter sammantaget.

Inom ramen för detta uppdrag har det inte varit möjligt att gå på djupet i analysen av de olika utvecklingsvägarna. Exempel på intressanta fortsatta analysområden kan vara fördjupningar kring behovet av infrastrukturinvesteringar för nya energisystem inom transportsektorn och hur de ekonomiska riskerna kring sådana satsningar kan minskas. En annan viktig aspekt kan röra försörjnings-trygghetsaspekter där värde och kostnader av flexibilitet är en viktig parameter. Att utveckla metoderna för beslutsfattande kring strategier för långsiktig energiförsörjning är också ett intressant fortsatt analysområde.

## Referenser

- Azar C., Lindgren K., Andersson B. A. 2003. Global energy scenarios meeting stringent CO<sub>2</sub> constraints - cost-effective fuel choices in the transportation sector, *Energy Policy*, **31**, 961-976.
- Azar C., Lindgren K., Larson E., Möllersten K., 2006. Carbon capture and storage from fossil fuels and biomass- costs and potential role in stabilizing the atmosphere, *Climate Change*, **74**, 47-79.
- Börjesson P. Ericsson K., Di Lucia L., Nilsson L. J. och Åhman M. 2008. *Hållbara drivmedel – finns de?* Rapport Nr 66, Miljö- och energisystem, Lunds Universitet, Box 118, 221 00 Lund.
- Capros P., Mantzos L., Papandreou V. och Tasios N. 2008. *European Energy and Transport. Trends to 2030 – Update 2007*, European Commission, Bruxelles.
- Commission of the European Communities. 2000. Green Paper - Towards a European strategy for the security of energy supply (COM/2000/0769 final).
- Commission of the European Communities. 2008a. Second Strategic Energy review. An EU Energy Security and Solidarity Action Plan. Communication from the commission to the european parliament, the council, the european economic and social committee and the committee of the regions (SEC (2008) 2794).
- Commission of the European Communities. 2008b. Commission Staff Working Document. Annex to the impact assessment. Document Accompanying the Package of Implementation Measures for the EU's Objectives on Climate Change and Renewable Energy for 2020. SEC (2008) 85.
- Concawe, EUcar, JRC. 2007. Well-to-wheel analysis of future automotive fuels and powertrains in the european context. Appendix 1. [http://ies.jrc.ec.europa.eu/uploads/media/WTW\\_App\\_1\\_010307.pdf](http://ies.jrc.ec.europa.eu/uploads/media/WTW_App_1_010307.pdf)
- Council of the European Union. 2007. Brussels European Council 8/9 March 2007. Presidency Conclusions. 7224/1/07.
- DiLucia L. och Nilsson L. J. Transport biofuels in the European Union. The state of play. *Transport Policy*, **14**, 533-543.
- Duleep K. G. 1997. Evolutionary and revolutionary technologies for improving automotive fuel economy. In DeCicco J., DeLucchi M.,(Eds). *Transportation, energy and environment: how far can technology take us?* American Council for an Energy-Efficient Economy, Washington DC.
- EEA (European Environment Agency). 2006a. TERM 2006 01 – Transport final energy consumption by mode. Indicator fact sheet.

- EEA. 2006b. *How much bioenergy can Europe produce without harming the environment?* EEA Report No 7/2006, Köpenhamn, Danmark.
- EEA. 2008a. CSI 029 – Primary energy consumption by fuel – Assessment published Apr 2008, Köpenhamn, Danmark.
- EEA. 2008b. *Energy and environment report 2008*, EEA Report No 6/2008. Köpenhamn, Danmark.
- Energimyndigheten. 2007. *Långsiktsprogno 2006 – enligt det nationella systemet för klimatrapportering*. ER 2007:02. Eskilstuna.
- Energimyndigheten och Naturvårdsverket. 2007a. *Den svenska klimatstrategins utveckling. En sammanfattning av Energimyndighetens och Naturvårdsverkets underlag till kontrollstation 2008*. Eskilstuna och Stockholm.
- Energimyndigheten och Naturvårdsverket. 2007b. *Styrmedel i klimatpolitiken*. Delrapport 2 i Energimyndighetens och Naturvårdsverkets underlag till kontrollstation 2008. Eskilstuna och Stockholm.
- Energimyndigheten och Naturvårdsverket. 2007c. *Granskning av nationella fördelningsplaner inom EU:s system för handel med utsläppsrätter. Kyotoperioden 2008-2012*. Eskilstuna och Stockholm.
- Energimyndigheten och Naturvårdsverket. 2007d. *Prognoser för utsläpp och upptag av växthusgaser*. Delrapport 1 i Energimyndighetens och Naturvårdsverkets underlag till Kontrollstation 2008. Eskilstuna och Stockholm.
- Energimyndigheten och Naturvårdsverket 2007e. Tilläggsuppdrag till klimatberedningen 2007-10-22.
- Energimyndigheten. 2008a. *Transportsektorns energianvändning 2007*. ES 2008:01, Eskilstuna, Sverige.
- Energimyndigheten. 2008b. *Koldioxidvärdering och energianvändning. Vad kan du göra för klimatet?* Underlagsrapport. Eskilstuna, Sverige
- Ericsson K. and Nilsson L. J. 2006. Assessment of the potential biomass supply in Europe using a resource-focused approach, *Biomass and Bioenergy*, **30**, 1-15.
- Euroobserver 2008. Biofuels barometer – june 2008.  
<http://www.biofuelstp.eu/downloads/baro185.pdf>
- Euroostat. 2009 Energy consumption of transport by mode,  
[http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page?\\_pageid=1996,39140985&\\_dad=portal&\\_schema=PORTAL&screen=detailref&language=en&product=REF\\_TB\\_ergy&root=REF\\_TB\\_energy/t\\_nrg/t\\_nrg\\_quant/tsdtr100](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page?_pageid=1996,39140985&_dad=portal&_schema=PORTAL&screen=detailref&language=en&product=REF_TB_ergy&root=REF_TB_energy/t_nrg/t_nrg_quant/tsdtr100). 2009-01-30.
- German Aerospace Center. 2006. *Trans-Mediterranean Interconnection for Concentrating Solar Power*, Institute of Technical Thermodynamics, Section Systems Analysis and Technical Assessment, German Aerospace Center



- Gröndalen O. 1998. *Väte - framtidens energibärare?* Elforsk Rapport 98:19, Elforsk, Stockholm..
- Gustavsson, L., Börjesson, P., Johansson, B., and Svenningsson, P. 1995. Reducing CO<sub>2</sub> emissions by substituting biomass for fossil fuels, *Energy -the International Journal* , **20**, 1097-1113.
- Hughes, T.P. 1987. The Evolution of Large Technological Systems, in Bijker, W.E., Hughes, T.P. and Pinch, T., (eds. ), *The Social Construction of Technological Systems*. The MIT Press, Cambridge Mass., and London, pp. 51-82.
- Hyways. 2008. *The European Hydrogen Roadmap*, European commission, Direction General for Research, Bruxelles.
- IEA. 2004. *Biofuels for transport. An international perspective*. Paris, Frankrike..
- IEA. 2007. *World Energy Outlook 2007. China and India Insights*. Paris, Frankrike.
- IEA. 2008a. *World Energy Outlook 2008*, Paris, Frankrike..
- IEA. 2008b. *Energy Technology Perspectives 2008. Scenarios and strategies to 2050*. Paris, Frankrike..
- IEA. 2008c. *CO<sub>2</sub> Emissions from Fuel Combustion – 2008 Edition*. Paris, Frankrike..
- IPCC. 1999. *Aviation and the global atmosphere*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- IPCC. 2005. *Carbon Dioxide Capture and Storage*. IPCC Special Report. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- James W. 2006. Large oil and GHG reduction with Plug-in hybrid vehicles, *Alternative Transport Energies Conference* September 10-13, 2006Perth, Australia
- Johansson B. 1996. Will Swedish biomass be sufficient for future transportation-fuel demands? *Energy*, **21**, 1059-1069.
- Johansson, B. 1998. Will new technology be sufficient to solve the problem of air pollution caused by Swedish transport. *Transportation Policy*, **5**, 213-222..
- Johansson B. och Mårtensson A. 2000. Energy and environmental costs for electric vehicles using CO<sub>2</sub> neutral electricity in Sweden. *Energy-the International Journal*. **25**, 777-792.
- Jonsson, D. K. (2005), *Indirekt energi för svenska väg- och järnvägstransporter – Ett nationellt perspektiv samt fallstudier av Botniabanan och Södra Länken*. FOI-R--1557—SE, Totalförsvarets forskningsinstitut, Stockholm.

- Jönsson O. 2006. *Utveckling och demonstration av användning av metan/vätgasblandningar som bränsle i befintliga metangasdrivna bussar*, Rapport SGC 170, Svenskt gastekniskt center, Malmö
- Kahn Ribeiro S., Kobayashi S., Beuthe M., Gasca J., Greene D., Lee D. S., Muromachi Y., Newton P. J. Plotkin S., Sperling D., Wit R., Zhou P.J. 2007. Transport and its infrastructure. In *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [B. Metz, O. R. Davidson, P. R. Bosch, R. Dave, L. A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Kaijser, A. 1994, I fädrens spår: *Den svenska infrastrukturens historiska utveckling och framtida utmaningar*. Carlsson, Stockholm.
- Karlsson A. 2001. *Vätgasblandning I CNG. Förstudie*. Rapport SGC 122, Svenskt gastekniskt center, Malmö
- Karlsson S. och Ramirez A. 2007. Plug-ins - a viable option? *Eceee Summer Study 2007. Proceedings*.
- Kempton W. och Dhanju A. Electric vehicles with V2G: Storage for large scale wind power, *Windtech international*, **2 (2)**, 18-21.
- Kempton W. och Tomic J. 2005. Vehicle-to-grid power implementation: From stabilizing the grid to supporting large scale renewable energy. *Journal of Power Sources*, **144**, 280-294.
- Kinsey, D. 1995, Potential of Leap Forward Vehicle Technology, Automotive Perspective. Ford Motor Company.
- Krewitt W., Simon S., Graus W., Teske S., Zervos A and Schäfer O. 2007. The 2°C scenario – A sustainable world energy perspective, *Energy Policy*, **35**, 4969-4980.
- Lenzen. 1999, Total requirements of energy and greenhouse gases for Australian transport, *Transportation Research-D*, **4**, 265-290.
- Litman T. 2008. *Smart Transportation Emission Reductions. Identifying Truly Optimal Energy Conservation and Emission Reduction Strategies*, Victoria Transport Policy Institute, Victoria, Canada.
- Lovins, A B. Barnett J. B and Lovins H.. 1993, Supercars – The Coming Light-Vehicle Revolution. In Ling R. and Wilhite H. (Eds.) *Proceedings of the 1993 ECEEE Summer Study: The Energy Efficient Challenge for Europe*. The European Council for an Energy Efficient Economy, Oslo, Norge.
- Mantzos L och Capros P. 2006. *European Energy and Transport. Scenarios on Energy Efficiency and Renewables*, European Commission, Bruxelles.

- Michaelis L och Davidson O. GHG mitigation in the transportation sector. *Energy Policy*, **24**, 969-984.
- Naturvårdsverket 2008. *Index över nya bilars klimatpåverkan 2007. I riket, länen och kommunerna*. Rapport 5820, Stockholm.
- Saynor B., Bauen A., Leach M. 2003. *The potential for renewable energy sources in aviation*. Imperial College for Energy Policy and Technology, London, UK.
- SPI. 2009. <http://www.spi.se/> 2009-01-14.
- Sprei, F., Karlsson, S., Holmberg, J. 2008. Better performance or lower fuel consumption: Technological development in the Swedish new car fleet 1975-2002, *Transportation Research – D*, **13**, 75-85.
- Steen, P., Dreborg, K.H., Henriksson, G., Hunhammar, S., Höjer, M., Rignér, J. & Åkerman, J. 1997. *Färder i framtiden, Transporter i ett bärkraftigt samhälle*. KFB-Rapport 1997:7. Forskningsgruppen för miljöstrategiska studier, Stockholm.
- Turton H. 2006. Sustainable global automobile transport in the 21<sup>st</sup> century: An integrated scenario analysis, *Technological Forecasting and Social Change*, **73**, 607-629.
- Vetenskapliga rådet för klimatfrågor. 2007. *Vetenskapligt underlag för klimatpolitiken. Rapport från vetenskapliga rådet för klimatfrågor*. Miljövärdsberedningens rapport 2007:3. Miljödepartementet, Stockholm.
- WEA (World Energy Assessment). 2000. *Energy and the challenges of sustainability*. United nations development programme, United nations department of economic and social affairs, World Energy Council. New York.
- Willand, J. 1996, Development in the Technology of Internal Combustion engines for passenger Cars over the next 10 to 15 years. Daimler-Benz.
- Åhman M. 2001. Primary energy efficiency of alternative powertrains in vehicles. *Energy*, **26**, 973-989.
- Åhman M. och Nilsson L. J. 2008. Path dependency and the future of advanced vehicles and biofuels, *Utilities Policy*, **16**, 80-89.
- Åkerman, J., Dreborg, K.H., Henriksson, G., Hunhammar, S., Höjer, M., Jonsson, D., Moberg, Å. & Steen, P. 2000. *Destination framtiden - Vägar mot ett bärkraftigt transportsystem*. Stockholm, KFB.
- Åkerman J. 2005. Sustainable air transport – on track in 2050. *Transportation research – D*, **10**, 111-126.
- Åkerman J. och Höjer M. 2006. How much transport can the climate stand, *Energy Policy*, **34**, 1944-1957.

Åkerman J. och Åhman M. 2008. *Förnybara drivmedels roll för att minska transportsektorns klimatpåverkan*. Rapporter från riksdagen 2007/2008: RFR 14.

Östensson, M., Jonsson, D.K., Magnusson, R., och Dreborg, K.H. 2009. *Energi och säkerhet: framtidsinriktade omvärldsanalyser för Försvarmakten*. FOI-R--2637—SE FOI, Totalförsvarets forskningsinstitut, Stockholm.