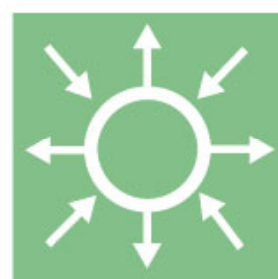
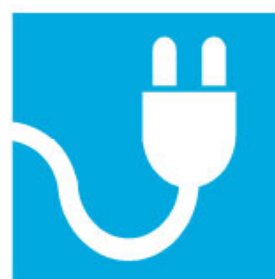


Plug-in hybrider

Elhybridfordon för framtiden

Elforsk rapport 08:10



Sten Bergman

Januari 2008

Plug-in hybrider

Elhybridfordon för framtiden

Elforsk rapport 08:10

Förord

Syftet med rapporten har varit att ställa samman kunskapsläget (år 2007) beträffande plug-in hybrider (laddhybrider) samt att diskutera effekterna av en storskalig introduktion av dessa fordon i Sverige. I rapporten görs ett antal överslagsmässiga beräkningar avseende bl. a miljöeffekter, påverkan på el- och oljeanvändningen, behovet av eleffekt etc. Siffervärdena är relativt grovt approximerade och bör således ej tas för att vara helt exakta.

Arbetet med rapporten har skett i nära dialog med en referensgrupp bestående av representanter från Elforsk, Svensk Energi, elföretagen samt Elkrafttringen.

Miljökonsekvensbeskrivningen i kapitel 7 har utförts av Peter Fritz, EME Analys. Vissa beräkningar har genomförts av Vattenfall och vid LTH/IEA.

Sammanhållande och projektledare för studien har varit civ. ing. Sten Bergman, StonePower AB.

Stefan Montin
Programområde Omvärld och system
Elforsk AB



Chevrolet Volt, GM:s konceptbil lanserades i januari 2007 i Detroit. Uppges komma ut på marknaden kring 2010: Bildkälla: GM

Sammanfattning

Kraven på att minska transportsektorns koldioxidutsläpp i kombination med frågeställningar kring försörjningstrygghet "security of supply" har inneburit att fordonstillverkarna på allvar börjat titta på alternativa framdrivningssätt, förbättrade motorer och nya bränslen. Även om hybridbilen ursprungligen är en 1800-tals konstruktion, har sedan mitten på 70-talet olika nya hybridformer (fordon som har fler än en motor) börjat utvecklas. Konsumenternas intresse för elhybridfordon och i viss mån även rena elfordon börjar nu öka. I Japan, som ligger långt framme i utvecklingen, uppgår antalet hybridfordon till över 500 000. Totalt har det tills nu sålts över en miljon elhybrider i världen, de flesta av Toyota.

Fördelen med elhybriderna är dels att förbränningsmotorn körs på ett mer energieffektivt sätt, dels att bromsenergin kan tas tillvara. Resultatet av hybriddriften blir att bränsleförbrukningen minskar och därmed kan också utsläppen av koldioxid minska.

Vad är en plug-in elhybrid?

En naturlig utveckling av elhybriderna är att förse dessa fordon med ett större batteripaket och se till att batterierna också kan laddas med el från vägguttaget. Plug-in elhybrider eller laddhybrider, som dessa fordon numera också benämns, skulle därmed kunna köra en betydande sträcka i eldrift. Förbränningsmotorn användas då bara vid långfärder, dvs. när batterikapaciteten inte längre räcker till eller när laddningsmöjligheter saknas.

I dagens elhybrider används Nickel metallhydrid batterier (NiMH). Dessa batterier har dock för liten energilagring förmåga i förhållande till sin vikt för att vara riktigt intressanta för plug-in tillämpningar. Utvecklingen är därför inriktad mot de lättare och samtidigt energitätare Litium-jon batterierna. Fram till nu har dock livslängden, säkerheten och priset varit begränsande faktorer för Litium-jon batterierna.

Mycket betydande forsknings- och utvecklingsinsatser görs idag i Japan, USA, Europa och Kina kring Litium-jon teknologin för fordonstillämpningar. Särskilt frågor om batteriernas säkerhet och livslängd ges hög prioritet. Parallellt med detta arbete planeras ett flertal fabriker för tillverkning av dessa batterier. Mycket talar därför för att Litium-jon batterier för fordon kommer att finnas tillgängliga för kommersiell tillämpning omkring 2010 eller strax därefter. Detta talar i sin tur för att plug-in elhybridfordon kommer att kunna börja introduceras kommersiellt någon gång kring 2010.

Hur kan vi minska utsläppen av koldioxid och bryta oljeberoendet i Norden?

Denna studie har tagit fasta på konsekvenserna av en storskalig introduktion av plug-in hybrider på den svenska/nordiska marknaden. Studien är i första hand inriktad på personbilar.

Den totala slutliga energianvändningen i Sverige uppgick år 2005 till drygt 400 TWh, varav transportsektorn stod för närmare 100 TWh. Av detta svarade landets 4,3 miljoner personbilar för ungefär hälften, dvs. omkring 50 TWh.

EU:s mål om att minska utsläppen av koldioxid med 20 procent till år 2020 och att effektivisera energianvändningen med 20 procent kräver mycket kraftfulla åtgärder. Samtidigt har den svenska Oljekommissionen föreslagit som mål för Sverige att minska oljeanvändningen inom vägtransportsektorn med 40-50 procent till år 2020.

Vad gäller personbilstrafiken skulle dessa mål i princip vara möjliga att uppnå med hjälp av en snabb och storskalig övergång till plug-in elhybridfordon som till stor del drivs med el.

Närmare tre fjärdedelar av personbilarnas årliga körsträckan i Sverige och Norden är mindre än 50 km per dygn. Ett batteri på uppskattningsvis 8-10 kWh skulle därför i princip räcka till för att klara den dagliga körsträckan för ett stort antal bilister.

Om man som räkneexempel antar att hela den svenska personbilsflottan skulle kunna konverteras till plug-in elhybrider och vidare förutsätter att dessa kan köra merparten, säg 70 procent av den årliga körsträckan i eldrift och resterande 30 procent med en förbränningsmotor, som vi antar förbrukar 0.5 liter per mil, får vi följande bild:

- Drivmedelsförbrukningen för personbilarna minskar med 80 procent från dagens ca 5-6 miljarder liter till omkring 1 miljard liter årligen. Drivmedlet skulle dessutom mycket väl kunna vara ett biodrivmedel som etanol eller biodiesel. Energiförbrukningen från drivmedel minskar totalt sett från ca 50 TWh till ca 10 TWh samtidigt som elbehovet ökar med ca 10 TWh. Privatekonomiskt innebär övergången från bensin och diesel till eldrift att kostnaden per körd mil minskar rejält. Med dagens bensin- och elpriser blir "besparingen" omkring 7 kr/mil som årsgenomsnitt för en normalbilist.
- Den kraftigt minskade åtgången av fossila drivmedel medför samtidigt att utsläppen av koldioxid och andra luftföroreningar kommer att minska dramatiskt. Minskningen av koldioxid kan komma att uppgå till närmare 10 miljoner ton årligen, vilket utgör hälften av hela transportsektorns utsläpp och motsvarar omkring 15 procent av Sveriges totala utsläpp.
- De tillkommande 10 TWh el som behövs kan jämföras med den svenska elanvändningen, som idag uppgår till ca 150 TWh. Om elbehovet i huvudsak kan täckas av ny förnybar energi från t.ex. vind, sol, eller biomassa uppstår heller inga nya koldioxidutsläpp från elproduktionen.

För att uppfylla Oljekommissionens förslag om en 40 procentig minskning av de fossila drivmedlen skulle Sverige behöva omkring 2.3 miljoner plug-in elhybrider. Elbehovet uppgår till ca 5 TWh el. Att introducera ett så stort antal plug-in hybrider till 2020 kan dock bli svårt.

En mer detaljerad analys visar att det skulle räcka med drygt 600 000 plug-in hybrider för att sänka koldioxidutsläppen från personbilstrafiken med 20 procent. Denna fordonsflotta skulle förbruka ca 1.3 TWh el. Om man gör räkneövningen att nybilsförsäljningen av plug-in hybrider i Sverige skulle växa från 10 000 fordon första året och efter 10 år uppgå till 100 000 fordon per år skulle antalet plug-in hybrider efter ca 10 år uppgå till 600 000 fordon. Det vill säga till det antal fordon som krävs för att minska koldioxidutsläppen från personbilarna i Sverige med 20 procent. Detta förefaller inte som en helt omöjlig utmaning, men utvecklingen ligger i stor utsträckning i politikernas händer när det gäller utformningen av styrmedel.

Förnybar elproduktion ett realistiskt alternativ

En dansk studie¹ har framhållit att drygt 500 havsbaserade vindkraftverk på 2 MW vardera skulle klara att försörja hela den danska personbilsflottan på 1,9 miljoner fordon med miljövänlig el. Studien menade att om varje hybridfordon betalade 6000 DKR extra skulle det räcka för en andel i ett vindkraftverk, som kunde försörja fordonet på ett uthålligt sätt.

Omräknat skulle svenska förhållanden skulle det behövas ca 300 stycken havsbaserade vindkraftverk på 5 MW för att klara energitillförseln till de dryga två miljoner plug-in elhybrider som erfordras för att till exempel uppnå Oljekommissionens målsättning.

En studie från Chalmers² har angivit att man med solceller kan producera ca 100 kWh per m² och år. En solcellsanläggning på 20 m² skulle således kunna försörja en plug-in hybrid med 2000 kWh per år under hela fordonets livslängd, vilket täcker bilens årliga elbehov vid en total körsträcka om ca 1500 mil per år. Invändningen är möjligen att elen kommer att produceras framför allt sommartid och att solcellerna fortfarande är dyra.

Det svenska elsystemet är tillräckligt robust

En plug-in hybrid som laddas med en effekt om uppskattningsvis 2 kW drar inte mer ström än en vanlig diskmaskin eller dammsugare, vilket innebär att en anslutning med 10 A säkring duger bra. Att koppla in bilen i garaget, vid sommarstugan eller vid något laddningsställe i staden är med andra ord inte något större problem. Med ett batteri på 8 kWh laddas bilen på ca 4 timmar. Byter man till trefas 16 A kan laddningen ske på under 1 timme. Snabbladdning på mindre än 15 min är också möjligt.

¹ EL&Energi Nr:3, februari 2007

² Björn Sandén, CTH

Elsystemet i Sverige är redan så väl utbyggt att tillkomsten av någon miljon plug-in elhybrider inte kommer att få någon nämnvärd påverkan på elproduktionssystemet eller elnäten. Eftersom merparten av fordonen kommer att laddas långsamt under dagtid och/eller nattetid finns redan idag (utom i extrema undantagsfall) en tillräcklig effektpotentila i det svenska elsystemet.

Samlade satsningar på plug-in elhybrider gagnar både miljön och sysselsättningen

En av huvudslutsatserna från denna studie är att plug-in hybriderna kan bidra till att mycket kraftigt minska utsläppen av koldioxid och andra luftföroreningar från transportsektorn, samtidigt som oljeanvändningen minskar.

Betydande forsknings- och utvecklingsinsatser görs idag i Sverige kring hybridtekniken. Dessa satsningar sker i stor utsträckning i samverkan mellan bilindustrin, den elkrafttekniska industrin, elföretagen och forskningsstödande myndigheter. Ett exempel är det nyligen inrättade Svenskt HybridCentrum (SHC), som är en gemensam satsning mellan svenska universitet, industri och Energimyndigheten. Ambitionen är att utveckla ny fordonsteknik. Organisationer som Elforsk, PowerCircle och Test Site Sweden har inlett aktiviteter som syftar till att stärka utvecklingen kring elfordon och plug-in hybrider.

Det finns nu mycket goda förutsättningar att vidareutveckla hybridtekniken i Sverige och därmed stärka den industriella utvecklingen i landet. Även om den svenska nybilsmarknaden bara utgör en bråkdel av världens totala bilförsäljning är bedömningen att Sverige kan spela en viktig roll som ett föregångsland när det gäller utveckling och introduktion av plug-in hybrider.

Mot den bakgrunden förordar Elforsk att elföretagen i samverkan med övriga aktörer samlas i en svensk satsning för att stärka utvecklingen och snabbt introducera plug-in hybrider på den svenska fordonsmarknaden. En sådan satsning skulle kunna få mycket stor betydelse både för miljön och för sysselsättningen.

Det är också viktigt att framhålla att om de svenska satsningarna på plug-in hybrider skall bli framgångsrika måste samhället svara upp med att skapa förutsättningar för en kommersiell introduktion av fordonen. Det innebär framför allt att styrmedlen inom trafikområdet måste utformas på ett sådant sätt att fordon med mycket goda miljöegenskaper premieras.

Summary

The requirement on CO₂ reduction from the transport sector in combination with questions on "security of supply", have imposed that car manufacturers worldwide seriously have started to look at alternative fuels, more energy efficient engines and also new type of drive trains. Since the mid 70-ies different hybrid forms have been developed, i.e. vehicles with more than one engine. In Japan, which is leading the development race of hybrid electric vehicles the number of hybrid electric car now surpass 500 000. In total over 1 million hybrids has been sold worldwide, most of them from Toyota.

The main advantage of the hybrid electric vehicles is that the engine can be operating at an optimal energy-lean level and that braking energy can be absorbed by batteries and reused. The result from the hybridization is that the fuel efficiency is increased and thereby also the emissions of CO₂, NO_x etc. are reduced.

What is a plug-in hybrid?

A natural development step of the next generation hybrid electric vehicles would be to equip those with a larger battery that also could be charged from the electric network. Plug-in hybrids should therefore be able to drive a significant distance on electricity as fuel. The combustion engine would be used only at long distance driving or when charging opportunities are missing.

In existing hybrid electric vehicles Nickel Metal-hydride batteries are used. These batteries, however, have a too small energy density in relation to its weight to be interesting in plug-in applications. Today's development efforts are now concentrated to lithium-ion batteries. Until today lifetime, safety and production cost are the limiting factors for Lithium-ion batteries.

Extensive research and development is under way in Japan, China, US and Europe in Lithium technologies for automotive applications. Safety and lifetime issues are of key interest and are now given top priority. Parallel with these efforts a number of manufacturing plants are planned. There are now indications of commercial batteries around 2010. The introduction of plug-in hybrids is therefore likely to start around 2010.

How can we reduce emissions of carbon dioxide and break the dependence on oil?

This study has focused on the consequences of large scale penetration of plug-in hybrids on the Swedish/Nordic market. The study only deals with passenger cars.

The total energy consumption in Sweden was during 2007 about 400 TWh, of which transportation contributed almost 100 TWh. In Sweden 4.3 million passenger cars consumed about 50 TWh transport energy from approximately 6 billion liter fossil fuel.

The common goal of EU to reduce the emissions of carbon dioxide by 20 percent until 2020 and improve energy efficiency by 20 percent requires powerful measures. The Swedish commission on oil dependence has suggested a 40-50 percent reduction of oil for transport until 2020.

Regarding road transport these goals could be possible to achieve with a large scale (and fast) introduction of plug-in hybrid vehicles mainly driven by electricity.

About three quarters of the passenger cars in Sweden and the Nordic countries drives less than 50 km per day. A battery of approximately 10 kWh would therefore in principle be sufficient to accommodate the daily transport.

As an example, if we assume that the entire passenger car fleet in Sweden was converted into plug-in hybrids over night and we assume that the main part, about 70 percent can be driven on electricity, with the remaining 30 percent on fossil fuel at a consumption rate of 0,5 liter/mil³, we arrive at the following picture:

- The fuel consumption from passenger cars would reduce by 80 percent from today's about 6 billion liters to about than 1 billion liters. The energy consumption from passenger cars would reduce from 50 TWh to 10 TWh. The electric consumption would increase by about 10 TWh.
- The heavy reduction of fossil fuel would imply that emissions of carbon dioxide should reduce by 10 million to per year. This reduction is about half of the total emission from road transport and about 15 percent of Sweden's total emissions.
- The additional 10 TWh electricity needed can be compared with the total consumption in Sweden which is 150 TWh. The additional electricity could be accommodated by wind, solar or biomass power generation. Thus no additional carbon dioxide from production of electricity.

To meet the suggestion from the Swedish Commission on oil dependence, regarding a reduction of fossil fuels by 40 we would need about 2.3 million plug-in hybrid vehicles until 2020. The electricity consumption of those would be about 5 TWh. Given the fact that 300 000 new vehicles are registered in Sweden annually that number is in principle achievable.

Analysis also gives at hand that to achieve the goal of EU, a reduction of carbon emissions with 20 percent, only about 600 000 plug-in hybrids are needed. This would be perhaps possible until 2020 under condition that plug-in hybrids are on the market around 2010 and not would be too expensive.

Renewable energy production – a realistic alternative

A Danish article pointed out that only 500 sea based wind power plants of 2 MW each would be needed to supply the entire Danish passenger car fleet of 1.9 million cars with environment friendly electricity. The article also

³ 1 mil is about 6,1 miles

mentioned that if each plug-in hybrid paid 6000 DKr extra it would be sufficient to finance a part of a wind power plant that could sustainably supply the car with electricity.

Translated to Swedish conditions we would need about 300 sea based wind power plants of 5 MW each to supply energy to 2 million plug-in hybrids, which is needed to meet the request from the Commission on Oil dependence.

The Swedish power grid is robust enough

A plug-in hybrid under charging represent an electric load of about 1-2 kW, i.e. as much as a toaster or a vacuum cleaner. A fuse of 10 A is sufficient. To connect the plug-in hybrid in the garage, at the summer cottage etc. is therefore no problem. With a battery capacity of e.g. 8 kWh the car may be fully charged within 4 hours. Upgrading to three-phase 16 A shortens the charging time to less than one hour. Fast charging is also possible. With a 63 A three-phase connection a battery may be charged within 15 minutes.

The power system in Sweden is designed and constructed with high robustness. A million plug-in hybrids would therefore be harmless for the network. As most plug-in hybrids would allow slow-charging during night or day-time enough power potential exist except maybe one or two critical winter days per year.

Coordinated actions on plug-in hybrids would benefit both the environment and employment

One of the main conclusions from this study is that plug-in hybrids is an appealing solution on how Sweden could address the emission of carbon dioxide and other emissions as well from the transport sector, while simultaneously reducing the dependence of oil.

Sweden has e.g. a extensive automotive and electro technical industry base. There are good research and development conditions in the country. However, even if the passenger car fleet in Sweden only is a small fraction of the global fleet, Sweden could become a significant forerunner when it comes to development and deployment of plug-in hybrids.

With that background Elforsk now invite Swedish actors to a coordinated initiative to introduce plug-in hybrids in Sweden. Such an initiative would most probably have a great impact on both the environment and employments.

Innehåll

1	Introduktion	1
2	Plug-in elhybrider	2
2.1	Vad är en plug-in hybrid?	2
2.2	Utvecklingstrender hos biltillverkare	2
2.3	Batterier för fordonstillämpningar	7
2.4	Sammanfattning	9
3	Marknaden för plug-in hybrider	11
3.1	Globala marknaden för plug-in hybrider.....	11
3.2	Europeiska personbilsmarknaden.....	11
3.3	Hinder för marknadsintroduktion av Plug-in hybrider.....	12
3.4	Sammanfattning.....	14
4	Ekonomiska aspekter på introduktion av plug-in hybrider	16
4.1	Privatekonomiska aspekter.....	16
4.2	Skatter, avgifter och subventioner	16
4.3	Subventioner för miljöfordon i Sverige.....	17
5	Några tänkbara framtidsscenarier	18
5.1	Fyra utvecklingsscenarier	18
5.2	Jämförelser mellan scenarierna	20
6	Kan vi nå klimatmålen till 2020?	22
6.1	Koldioxidutsläpp från transportsektorn.....	22
6.2	Plug-in hybrider kan kraftigt minska koldioxidutsläppen	22
7	Inverkan på elnäten av från storskalig introduktion av plug-in hybrider	24
7.1	Infrastruktur för laddning	24
7.2	Infrastruktur för natt- och dagsladdning.....	25
7.3	Infrastruktur för trådlös laddning	26
7.4	Infrastruktur för snabbladdning	27
7.5	Batterier som mobil reservkraft och snabb störningsreserv	28
7.6	Elkvalitet.....	29
7.7	Uppskattning av maximalt effektbehov (Scenarie 1-4)	29
8	Alternativa metoder att beräkna miljö-konsekvenserna från elproduktionen	30
8.1	Allmänt.....	30
8.2	Ögonblicksbild	31
8.3	Tillbakablickande perspektiv (Genomsnittliga utsläpp)	32
8.4	Framåtblickande	33

8.5	EUs handelssystem med utsläppsrätter.....	33
8.6	Konsumentstyrt	34
8.7	Jämförelser mellan olika värderingsmetoder	35
8.8	Slutsatser	35
9	Hybridfordonsutveckling i Sverige	37
9.1	Forskning och utveckling kring hybridtekniken.....	37
9.2	Svenska styrkor	37
9.3	Forskningsamverkan.....	37
9.4	Samlade satsningar kan kanske göra Sverige till förebild	38
9.5	Exempel på tänkbara utvecklingsprojekt.....	39
10	Slutsatser	41
11	APPENDIX	43

1 Introduktion

Den snabba ökningen av halten växthusgaser behöver dämpas och stabiliseras på en nivå som inte kan ge skadliga effekter på människor och natur. Stern-rapporten⁴, som kom under hösten 2006 visade på vilka oerhörda kostnader som skulle kunna bli fallet om inte kraftfulla åtgärder vidtas snarast. Al Gore⁵ och FN:s klimatpanel tilldelas Nobelpriset under 2007. Vattenfall har tagit initiativ till ett internationellt miljösamarbete⁶. Intresset för att minska utsläppen av koldioxid har aldrig varit större än nu.

Den svenska regeringen har, i linje med EU, angivit att målet för Sveriges klimatpolitik är att minska utsläppen av växthusgaser med 20 procent eller mer fram till 2020 samt att man arbetar med att utöka handeln med utsläppsrätter till att också omfatta transportsektorn. Andelen biobränsle i fordonstrafiken skall vidare öka till 10 procent och andelen förnyelsebar energi skall uppgå till 20 procent av totala energiproduktionen fram till 2020. Målen i Europa är högt ställda och kräver genomgripande förändringar inom ett flertal sektorer, inte minst inom transportsektorn.

Fordonsindustrins satsningar på s.k. elhybrider utgör nu en viktig del i strategin för att på kort sikt möta kraven på lägre drivmedelsförbrukning och sänkta utsläpp av koldioxid. En mycket tilltalande möjlighet att ytterligare minska koldioxidutsläppen och bränsleförbrukningen från transportsektorn ligger i att förse elhybridfordon med betydligt större batterier så att de kan laddas med el från elnätet och fordonen köra längre sträckor i eldrift⁷. Idag demonstreras plug-in hybrider som konceptfordon av ett ökande antal fordonstillverkare och stora framsteg har gjorts under de senaste åren för att kunna tillverka avancerade tillförlitliga och energitäta batterier till rimliga kostnader.

Syftet med denna studie är att (1) ge en ökad allmän kunskap om plug-in hybrider, (2) analysera hur utsläppen av koldioxid och oljeberoendet från transportsektorn kan komma att förändras vid en storskalig introduktion av plug-in hybrider, (3) analysera fordonens krav på laddningsinfrastruktur, energiförbrukningsmönster, påverkan på elproduktionssystemet och elsystemets effektkapacitet, (4) översiktligt diskutera marknadsutveckling både globalt och i Sverige samt (5) föreslå vad elföretagen och andra kan göra för att underlätta en snabb marknadsintroduktion av plug-in hybrider.



Laddningsuttag på plug-in hybrider kan komma att omfatta både kontakter för långsam laddning (stickproppar), som mer avancerade anslutningsdon för snabbladdning med effekter upp mot ca 40 kW.

Laddningen av hybridfordon skulle därmed kunna "regleras" mellan 15 minuter och 5 timmar beroende på tillgång till bl.a. snabbladdningsstationer.

⁴ The economics of Climate Change; Stern Review, Summary and Conclusion

⁵ En obekväm sanning; Davies Guggenheim, Al Gore, 2006

⁶ A roadmap to combating climate change; The 3C initiative's recommendations to political leaders.

⁷ Toyota Prius batteri väger 39 kg, Hondas batteri 30 kg.

2 Plug-in elhybrider

För ca 10 år sedan genomförde Elforsk på uppdrag av ett tjugotal elföretag ett antal studier inom området El för fordon⁸⁹¹⁰¹¹. Avsikten då var framförallt att identifiera och konkretisera projektförslag och idéer av särskild vikt för elföretagen i Sverige rörande infrastrukturen för elbilar. Studien resulterade i att tre konkreta områden identifierades:

- Elfordon – elinstallation och säkerhet
- Komparativ livscykelanalys för el- och förbränningsmotordrivna fordon under svenska förhållanden.
- Laddningsinfrastruktur idag och i morgon

Studien sammanfattades med att: *"sannolikt kommer elbilsmarknaden ganska snart, inom tio år, att helt domineras av de hybridfordon som nu börjar introduceras på marknaden. Hybridernas räckvidd och flexibilitet gör att de kan ta andelar på den dominerande privatmarknaden, under förutsättning att priset blir konkurrenskraftigt..."*.

2.1 Vad är en plug-in hybrid?

Elhybrider, som utvecklades först under tidigt 70-tal, har funnits på den svenska marknaden sedan år 2000 (t.ex. Toyota Prius). Dessa hybrider är fordon som har minst två motorer, varav minst en elmotor. Elhybriden kan förses med olika drivlinor. En parallell-hybrid kan exempelvis använda båda motorerna för framdrift, medan en seriehybrid använder förbränningsmotorn enbart för att ladda batterierna och den elektriska maskinen för framdrift.

En plug-in hybrid är en elhybrid där batteriet är betydligt större än hos en konventionell elhybrid och där batterierna dessutom går att ladda från elnätet. Plug-in hybrider (PHEV) uppskattas få batterier med laddningskapacitet upp till 30 kWh alltså i paritet med vad som tidigare enbart diskuteras för rena elbilar. Dessa skulle kunna köra upp mot 150 km eller mer i ren eldrift. Gränsen mellan batteribilar och plug-in hybrider kommer på sikt att kunna suddas ut.

2.2 Utvecklingstrender hos biltillverkare

Ett flertal fordonstillverkare lyfter nu fram plug-in elhybriderna som nästa steg i sina miljöåtgärder för att minska utsläppen av växthusgaser och förbättra bränsleekonomin hos personbilarna¹². Olika konceptbilar som till exempel Chevrolet Volt, Saab BioPower hybridkoncept, Volvo C30 ReCharge, Toyota Prius Plug-in, m.fl. är exempel som redan har visats upp på olika mässor och flertalet tillverkare talar nu öppet om plug-in hybrider som reella alternativ för att effektivisera bränsleekonomin och minska utsläppen av CO₂ inom en relativt snar framtid. Chevrolet talar om 2010, Volvo Cars om 2015.

⁸ El för fordon Komparativ livscykelanalys för el- och förbränningsmotordrivna fordon under svenska förhållanden, Elforsk rapport 99:30

⁹ El för fordon. Elinstallation och säkerhet, Elforsk rapport 99:31

¹⁰ El för fordon. Laddinfrastruktur idag, Elforsk rapport 99:32

¹¹ El för fordon. Laddinfrastruktur i morgon, Rapport 99:38

¹² Plug-in Hybrids. Electrifying transports; Dan Greenberg, E-source, nr 42, July 2005

2.2.1 Satsningar från Japanska biltillverkare

Trettio års produktutveckling sedan den första elbilsprototypen levererades har inneburit stora tekniska framsteg för de japanska tillverkarna som Toyota och Honda. I de tidigaste hybridmodellerna användes framförallt induktionsmotorer, nu gäller kompakta permanentmagnetiserade växelströmsmotorer. Andra viktiga framsteg rör batteritekniken som från början handlade om avancerade blybatterier men numera nästan uteslutande koncentreras intresset mot Nickel metallhydrid och framförallt de energitätare Litium-jon batterierna.

En viktig nyckelteknologi inom hybridfordonsutvecklingen är användningen av avancerad och kompakt kraftelektronik. Drivkraften bakom denna utveckling har dock inte i första hand varit fordonsindustrin, utan snarare kraven/behoven från den tunga industrin och konsument/hemelektronik industrin.

Bland andra framgångsfaktorer bör också nämnas japanernas förmåga att på intelligent och kompakt sätt integrera mekatronik och elektronik. Detta har också fått stor inverkan på elhybridutvecklingen.

Den japanska satsningen på elfordon, elhybrider och plug-in elhybrider har varit både strategisk och långsiktig och pågått under lång tid. Erfarenheterna från tidigare elbilsatsningar visade tidigt på behovet av standardisering. Detta gäller inte minst laddningsstationer och anslutningsdon.

Den japanska utvecklingen stöddes tidigt av Ministeriet för Internationell Handel och Industri (MITI)¹³. Stödet omfattade alla steg från grundläggande forskning till marknads- och systemstudier, samt omfattade även stöd till standardiseringsarbetet. MITI programmen behandlade dessutom stöd till elinfrastrukturen.

Genom bildandet av Japan Electric Vehicle Association (JEVA) 1976 utformades inte bara planer för en storskalig marknadsintroduktion för batterifordon i Japan, utan grunden lades även för en gemensam vision hos de flesta marknadsaktörerna. JEVA har dock nyligen inlemmats i Japan Automobile Research Institute (JARI) som driver frågan vidare. JARI medverkar även i framtagning av standards för elfordon och plug-in hybrider.

De "något ambivalenta" miljösatningarna i bl.a. Kalifornien har dock utgjort både drivkraft och hinder för elbilsatningarna i Japan. Ett flertal statliga batteriprojekt stoppades och andra försenades i och med att miljölagstiftningen mildrades. Genom diverse tveksamheter i elbilsprogrammet och svaga marknadssignalerna i början från framförallt USA påbörjade MITI och New Energy Development Organisation (NEDO) under slutet av 1997 ett utvecklingsprogram avseende FoU kring avancerade förbränningsmotorer (ACE). Detta program förändrades dock i sista stund till att omfatta även elhybrider och nu innehåller programmet även svänghjulslager, keramiska motorer för komprimerad naturgas och olika elektroniska "kommunikationsbusskoncept". Det stora kommersiella genombrottet för elhybrider kom under 1998 och idag finns mer än 500 000 elhybridfordon enbart i Japan. Sedan den 25 juli 2007 rullar 8 stycken Toyota Prius plug-in hybrider på Tokyos gator och ett antal på amerikanska universitet.

Genom de systematiska satsningar som skett under de senaste decennierna bedömer vissa experter att Japan har ett klart försprång i teknikutvecklingen inom hybridområdet.

Under 2006 sålde Toyota över 400 000 hybridfordon, vilket är 4 ggr fler än exempelvis Honda och i år är prognosen över 500 000. Toyota, som påbörjade utvecklingen av

¹³ Government Policy and Environmental Innovations in the Automobile Sector in Japan, Max Åhman, Lund University, rep. 53, Department of Environment and Energy systems studies, Jan 2004.

miljöbilar redan under 60-talet och lanserade den första hybridbilen, Toyota Sport 800, redan på slutet av 70-talet är idag den ledande biltillverkaren i världen som har närmare två tredjedelar av världsmarknaden för elhybridfordon följt av Honda.



Kompakt Litium-jon batteri utvecklat i samarbete mellan TEPCO och NEC för användning i små tjänstebilar. Foto: Sten Bergman

Allt sedan Toyota introducerade den första elhybriden har man utvecklat nya och mer sofistikerade lösningar och befinner sig nu i den fjärde generationen av hybridkoncept. Toyota Prius är en full-hybrid, det vill säga, det är både en serie- och parallell hybrid genom den sinnrika kraftfördelningsenhet som finns i systemet. Det sinnrika kraftfördelningsystemet är dock ingen ny uppfinning av Toyota utan finns även t.ex. i Fords hybrider. Toyotas FoU ansträngningar, vilka ökade med närmare 7 procent under 2006, uppgår till närmare 55 miljarder kr per år svarande mot ca 4 procent av omsättningen.

Toyota baserar sin hybridlösning på sin "smarta mekaniska överföring", Toyota Hybrid Synergy Drive. Den senaste modellen (THSD II) arbetar på spänningsnivån 500 V jämfört med den tidigare modellen som hade 274 V. Totalverkningsgraden har kunnat höjas med 4 procent och bränsleförbrukningen är angiven till omkring 0,43 liter /mil.

Genom att höja systemspänningen har också verkningsgraden kunnat höjas. Den elmotorn som tidigare enbart utvecklade 33 kW kan nu leverera en effekt om 50 kW. Orienteringen av permanentmagneterna i V-form, istället för radiellt, har dessutom gett förbättrade momentegenskaper vid låga varvtal och momentkaraktistiken har i snitt förbättrats med 30 procent. Generatoren har försetts med en två-stegs växellåda vilket innebär att den kan gå vid bättre driftspunkt och samtidigt har rotationshastigheten höjts från 6 500 till 10 000 varv per minut.

Honda var den första biltillverkaren som sålde en elhybrid (klassad som en mildhybrid) i USA, nämligen Honda Insight (1999). Idag har man tre modeller på programmet. Honda Civic Hybrid (2002), samt Honda Accord Hybrid (2004). Den senare är utrustad med ett Nickel metallhydrid batteripaket om 0,8 kWh. I Hondas hybrid sitter elmotorn mellan växellådan och motorn.

Nissan har nyligen tagit ett steg för att på egen hand satsa på utvecklingen av elhybrider, genom att säga upp ett tidigare samarbetsavtal med bl.a. Toyota. Nissan utvecklade också helt nyligen en ny typ av avancerad elmotor, vilken man avser att placera i kommande elhybrid fordon. Motorn har dubbla rotorerna, vilka kan regleras separat och kan ge hybridfordonen förbättrade egenskaper till låga kostnader.

2.2.2 Satsningar från amerikanska biltillverkare

Världens största biltillverkare, General Motors (GM), har ett hybridprogram, som omfattar minst tre olika nya systemlösningar. Under 2006 lanserades Chevrolet Tahoe och GMC Yukon, vilka båda är fullstora Suvar. Bränslebesparingarna är uppskattade till minst 25 procent i dessa modeller jämfört de konventionella varianterna.

I september 2005 meddelade BMW, Daimler-Chrysler och General Motors att man ingått ett globalt partnerskap för att utveckla ett gemensamt hybriddrivsystem. Genom att föra samman sina experter till ett utvecklingscenter i Michigan hade man för avsikt att snabbt kunna ta fram en gemensam plattform för drivlinor. "Two-mode" konceptet, som utvecklats, innehåller två elektriska motorer och en förbränningsmotor.

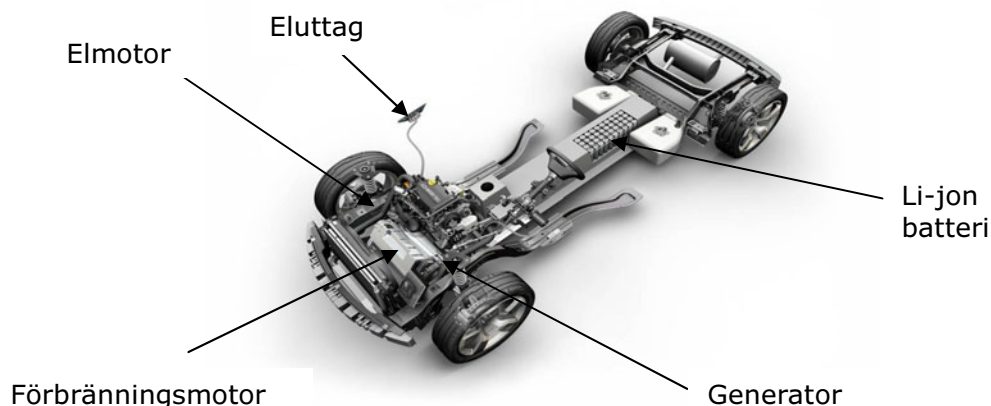
På Stockholms bilsalong 2006 visade GM/Saab nästa generation etanolhybridbilar. Saab BioPower skall kunna köras på ren etanol. Den har försetts med GM's så kallade "två-mods hybridssystem", samt ett 300-volts Litium-jon batteripaket.

Den har en etanolmotor på 191 kW, en elektriskt variabel transmission (EVT) med två elektriska motorer inbyggda på 55 kW samt 60 kW, samt en elmotor på 38 kW monterad längst bak vilket ger möjlighet att driva samtliga hjul på ren eldrift.



Saab BioPower hybrid-koncept. Foto: SAAB

General Motors visade på bilmässan i Detroit i januari 2007 sin nya konceptbil, Chevrolet Volt, som är en plug-in elhybrid med planerad lansering 2010. Denna skall bestyckas med bl.a. ett Litium-jon batteri med kapacitet om minst 16 kWh. Volt kommer att förses med en trecylindrig 1.0 liters motor, dubbla laddningssystem och en bränsletank om 50 liter. Den är vidare försedd med en elmotor om 120 kW (160 hk) vilket gör att den kan accelerera snabbare än en konventionell bensin driven bil. Man uppger 0 till 100 km på 8,5 sek. Bilen skall kunna köra 64 km på en laddning. Laddningen skall kunna ske med 115 V AC och ta högst 6 tim.



Chassi till Chevrolet Volt: Foto: GM

Opel Corsa Hybrid Concept Car är namnet på den bilmodell som blir först med att visa upp General Motors nya "mildhybridteknik", genom att man kombinerat en generator och startmotor/elmotor med en 1,3 liters dieselmotor.

Den kombinerade startmotorn och generatoren används dels för att ge en automatisk start och stoppfunktion, som innebär att motorn slås av när bilen är på väg att stanna och sedan startar automatiskt när föraren är på väg att släppa upp bromspedalen igen. Vid inbromsning regenererar generatoren bromskraften till ström som i sin tur laddar ett Litium-jon batteripaket.

Vid acceleration kan elmotorn ge extra draghjälp och som alla elmotorer ger den mycket vridmoment direkt från start/stillastående. Motorpaketet är mycket kompakt och kan hängas på befintliga bilmodeller utan allt för mycket modifieringar. Enligt General Motors ska Opel Corsa Hybrid Concept Car inte dra mer än 0,38 liter/mil och ge ett koldioxidutsläpp runt 99 g/km.

*Saab 9-3 BioPower
Hybridkoncept; Foto: SAAB*



Volvos ReCharge Concept, som lanserades i september 2007, har en aktionsradie på över 100 km. Vill man köra längre finns en flexifuel motor på 1.6 liter. Volvo C30 ReCharge är utrustad med fyra hjulmotorer på vardera ca 25 kW och är en ren seriehybrid. Enligt Volvo kan bilen köra hela 15 mil på ett fulladdat batteri samt endast 2.8 liter bränsle. Att ladda batteriet skall kunna ske på drygt 3 timmar medan en 1-timmes laddning ger tillräcklig energi för dryga 50 km färd.



*Volvo ReCharge Concept Car,
Foto: Volvo Cars*

Motorn i ReCharge aktiveras när batteriladdningen understiger 70 procent eller när föraren så önskar (genom en knapptryckning).

Enligt Volvo kommer ReCharge att uppvisa en driftkostnad som är närmare 80 procent lägre än en konventionell bil och ge närmare 66 procent mindre koldioxidutsläpp (beror dock på hur elen produceras) än det idag mest bränseleffektiva hybridfordonet, som är i produktion.

2.2.3 Satsningar från Europeiska biltillverkare

Många europeiska biltillverkare är också aktiva när det gäller plug-in hybrider. Peugeot-Citroën har tagit fram en dieselhybrid, Citroën C4 Hybride HDi, som är en ren parallellhybrid. Bilen förbrukar enbart 0,34 l/mil och har en räckvidd på 177 mil på en

tank. Motorn består av en 4-cylindrig dieselmotor på 90 hk och elmotorn har en effekt på 22 hk med topp effekt på 32 hk vid acceleration. Utsläpp av CO₂ är endast 80 g/km.

Hela hybridpaketet, som idag väger runt 110 kg skall på sikt bantas till 90 kg, varav batterier får väga högst 55 kg. Konzeptbilen drivs med nickel metallhydrid batterier (288 Volt) som placerats i reservhjulsfacket.

Priset för hybriderna är runt 60 000 kr högre än motsvarande konventionella fordon. Citroën tror dock att när serieproduktionen kommer igång runt 2010 är priset högst 18 000 kr mer för hybriderna.

Cleanova, som är en enhet inom Dassault Groupe i Frankrike testar för närvarande en seriehybrid vilken förväntas komma på marknaden redan under 2008. Bilen, som baseras på Renault Kangoo har en ICE motor på 55 hk samt en elmotor. För närvarande provas olika batterilösningar (av Litium-jon typ) i storleksordningar 16 till 30 kWh. Förväntade aktionsradien i ren eldrift är därmed över 15 mil.

Mercedes Benz har utvecklat en S-klass "Hybrid". Med totalt 241 kW, som är ett slags rekord för kraftöverföring i hybridfordon utvecklar V8 dieselmotorn 191 kW (260 hk). Två elmotorer på vardera 50 kW används för acceleration och optimerad körning. Genom att ha en andra elmotor påstår Mercedes Benz att dieselmotorn kan startas och stoppas praktiskt taget när som helst utan problem med övergångar vid alla olika körtyper. Elmotorerna drivs med ström från 1,9 kWh nickel metallhydrid batterier, som placeras under bagageutrymmet. Bilen förses med regenerativ bromsningsfunktion.

Nyligen presenterade också BMW sina planer på hybridfordon. Företaget avser att lansera en hybridmodell runt 2009, nämligen BMW X5 SUV, där bensinmotorn kompletteras med en stark elmotor. Företaget har också planer på en bil som drivs med både bensin och vätgas. Den senare kan möjligen komma i kommersiell variant efter 2010.

2.3 Batterier för fordonstillämpningar

Merparten av dagens elhybrider förses med batterier av Nickel metallhydrid typ. Dessa batterier bedöms dock ha för låg laddningskapacitet i förhållande till sin vikt för att vara riktigt intressanta för plug-in tillämpningar. Intresset fokuseras därför kring de mer energitäta Litium-jon batterierna. Dessa satsningar är helt avgörande för om utvecklingen av plug-in elhybrider kommer att lyckas¹⁴.

Idag dominerar japanerna batteriutvecklingen helt. Sanyo har t.ex. över hälften av världsmarknaden för nickel metallhydrid batterier och knappt hälften av världsmarknaden för Litium-jon batterier. Den största konkurrenten är Matsushita Electric Industrial Company och Toyota Motor Corp.

2.3.1 Nickel-metallhydrid batterier

EPRI genomförde under 2004 en studie kring användning av Nickel metallhydrid batterier för plug-in elhybrider. Slutsatsen som dragits är att metallhydrid batterier som utformats med tanke på plug-in kompatibla elhybrider inkluderande de tre till fem senaste årens¹⁵ tekniska framsteg klarar ställda krav när det gäller livslängden och kostnaden i massproduktion.

¹⁴ För mer information om batterier se Appendix 4

¹⁵ Avser perioden 1997-2000

Även om många tecken tyder på att metallhydrid batterierna kommer att få ge vika för de energitätare Litium-jon batterierna finns det viss anledning att inte helt räkna ut dessa batterier då de i praktiken hittills visat sig väldigt driftsäkra.

2.3.2 Litium-jon batterier

Den batterityp som bilföretagen nu koncentrerar sina ansträngningar mot och troligen kommer att bli dominerande i plug-in hybrider är Litium-jon batterierna. Ett viktigt skäl är dess högre energitäthet, lägre specifik vikt och förbättrade laddningsprestanda. Batterierna har dock ännu inte kunnat uppvisa kraven på långa livslängder och tillräcklig säkerhet mot överhettning och brand. Stora ansträngningar görs nu för att utveckla Litium-jon teknologin mot större säkerhet och en billigare tillverkning.

Litium-jon batterierna tillhör en klass batterier som består av många olika lösningar vid val av de ingående komponenterna. Litium-jon batteriernas specifika energi ligger för dagen i regel under 100 Wh/kg. Målet på sikt är satt till närmare 200 Wh/kg. Unikt för Litium-jon batterierna är dock att dessa kräver en detaljerad övervakning på cellnivå. Laddningen måste exempelvis noga övervakas och utjämningsfunktioner mellan cellerna införas så att batteriet inte utsätts för termisk rusning.

Japanska tidningar¹⁶ rapporterade nyligen från Frankfurt att VW, tillsammans med Bosch, BASF, Evonik Degussa och två andra tyska företag, har beslutat att investera sammanlagt 360 miljoner Euro för att utveckla ett högpresterande Litium-jon batteri för bilar. Den tyska regeringen lär bidra med 60 miljoner Euro.

Panasonic¹⁴ EV Energy (PEVE) samverkar med Toyota i utvecklingen av Litium-jon batterier. För närvarande pågår utveckling av bl.a. tillverkningsteknologi och med testning och utvärdering av batterierna. PEVE kommer troligen att fortsätta sin tillverkning av Nickel metallhydrid batterier. För billigare elhybrider och tunga elhybrider kommer Nickel metallhydrid batterier under lång tid att vara bra ett val. Mitsubishi Motor Corporation, Mitsubishi Fuso Truck & Bus Corporation, Japan Storage Battery Co är engagerade i utvecklingen av framtidens elhybridfordon och Litium-jon batterier.

2.3.3 Andra Energilagringalternativ

Även om mycket sker när det gäller utvecklingen av Litium-jon tekniken skall kanske andra forskningsframsteg inte helt räknas bort. I takt med att marknaden för avancerad energilagring växer kommer också andra alternativ att kunna komma att utvecklas. Superkondensatorer hör troligtvis till dessa. En superkondensator är inte ett kemiskt energilager utan elektronerna fångas på fysikalisk väg i olika dielektriska skikt. Medan kemiska energilager har en relativt begränsad livslängd uppvisar superkondensatorer närmast oändlig livslängd till priset av mycket låg energilagring förmåga.

Annan utveckling sker vad gäller högeffektiva och kompakta mekaniska svänghjulslager. Med hjälp av nya kolfiberkompositer och permanentmagneter kan sådana energilager göras mycket kompakta. Rotationsvarvtalen kan uppgå till över 100 000 varv per minut.

2.3.4 Kostnadsutveckling för fordonsbatterier

Tillverkningskostnaderna både för Nickel-metallhydrid och Litium-jon batterier för fordonsändmål är idag mycket höga. Batterierna byggs i princip för hand. EPRI¹⁷ anger

¹⁶ Nyhetsrapportering: Kanehira Maruo, ETC Battery & FuelCells Sweden AB

¹⁷ EPRI Report 1009299: Advanced Batteries for Electric-Drive Vehicles

dock att kostnaderna för volymtillverkning (>100 000 enheter/år) för Litium-jon batterierna kommer att hamna kring 200-300 dollar/kWh, dvs. betydligt lägre än dagens mycket höga kostnader.

De enstaka Litium-jon batterier som hittills installerats i Toyota Prius av "hemmabyggare" kostar närmare \$1600/kWh.

2.3.5 Pågående standardiseringsarbeten

För närvarande bedrivs standardiseringsarbete inom bl.a. IEC och SEK inom TC69. Arbetet som varit vilande från Svensk sida kommer nu att startas upp igen.

2.4 Sammanfattning

Utvecklingen av nyckelteknologierna runt plug-in hybrider går snabbt. Sammanfattningsvis kan sägas att:

- Den interna förbränningsmotorn kommer sannolikt att dominera både konventionella fordon, elhybrider och plug-in elhybrider. Prestanda kommer att förbättras liksom möjligheterna att driva motorerna på olika alternativa bränslen (etanol, biodiesel etc.). Nya motortyper kan på sikt komma att introduceras för framförallt seriehybriderna, där forskningsresultat nu pekar på vissa energivinster. Fordonstillverkarna kommer att sträva mot bättre bränsleekonomi, uppfyllande av utsläppskraven och kostnaderna för tillverkning.
- Drivlinorna kommer att vidareutvecklas. Stora forskningsinsatser görs på framförallt nya drivlinekoncept
- Fordonen konstrueras alltmer med hjälp av olika nya kompositmaterial vilka gör de lättare och design sker nu med tanke på låga luftmotstånd, lågt vägbuller, låg däcksfriktion etc.
- Litium-jon batterier ger bättre prestanda i form av högre energitäthet och effekttäthet. Nya anod- och katodmaterial medger högre laddnings- och urladdnings strömmar och ger samtidigt lägre upp- och urladdningsförluster. Batterierna får en högre värmetålighet och blir billigare att tillverka i stora serier. Strategiska samarbeten mellan bilindustrin och konsumentelektronikindustrin pekar på synergivinster när nya fabriker nu upprättas i Japan, USA och Europa. Förhoppningen är att fordonsindustrin har "kommersiella" batterier att tillgå omkring 2010.
- Litium-jon batterier måste demonstrera sina livslängdsegenskaper och säkerhet innan marknaden tar fart på allvar. Forskning och utveckling talar samtidigt för att kostnadsutvecklingen hos batterier kommer att fortsätta mot allt lägre priser i samband med att volymerna ökar, samtidigt som egenskaper som energi/viktförhållande, livslängd, värmetålighet m.m. förbättras. Batterierna kommer att vara den mest kritiska komponenten i framtidens plug-in elhybrider. Deras inverkan på fordonens bränsleförbrukning kommer också att vara av betydelse för hur stor kundacceptansen blir.
- Elektriska motorer och generatorer visar på potentiella förbättringsmöjligheter. Kostnaderna kommer att pressas i samband med massproduktion och egenskaperna för motorerna kommer att förbättras även om verkningsgraderna för vissa elmaskiner redan nu närmar sig 98 procent.

- Synkronmotorer med permanentmagneter och avancerad styrsystem för motorerna ger nya möjligheter för elhybrid tillverkarna. Så kallad "fyrvadrant styrning" vilket används idag medger både effektiv motorverkan och generatorfunktion (som används vid regenerativ bromsning). Nya koncept för direktgjutna rena kopparrotorer erbjuder också högre motorverkningsgrader och ger samtidigt lägre förluster. Problem med överhettning av lindningar kan därmed minskas.
- Dagens kraftelektronik har mycket mer att ge när det gäller framtidens elhybrider. En större integration av funktioner på chip, samt användning av nya substrat som exempelvis kiselkarbid, kommer att sänka förlusterna och släppa kravet på speciella kylsystem. Förbättringarna i morgondagens plug-in hybrider kommer att introduceras successivt och i takt med att kostnaderna för delkomponenterna minskar.

3 Marknaden för plug-in hybrider

Fordonstillverkarna fokuserar nu sina ansträngningar på att minska utsläppen av koldioxid och minska bränsleförbrukningen från transportsektorn. Man arbetar på bred front med bl.a. bränslesnålare motorer, effektivare drivlinor, motorer anpassade för alternativa drivmedel, bränsleceller, elfordon, etc. Elhybridfordon ingår som en viktig del i denna utvecklingsstrategi. Toyota kom först ut på marknaden med sin Toyota Prius tätt följd av Honda. Idag finns ett växande antal elhybridfordon att tillgå och ännu fler kan skönjas efter demonstrationer på olika bilmässor.

En begränsande faktor för elhybriderna har hittills varit relativt höga kostnader vilket bromsat marknadsutvecklingen. Antalet elhybrider uppgår i dag till ca 1 miljon fordon i världen vilket är en blygsam siffra i förhållande till totala antalet fordon som uppskattas till över 850 miljoner fordon. I takt med att nyckelkomponenter som batterier, elmotorer och styrelektronik anpassas mot en större marknad sjunker dock priserna i takt med att andelen elhybrider som säljs ökar konstant. Detta gynnar också utvecklingen och speciellt marknadsintroduktionen av plug-in elhybridfordon.

3.1 Globala marknaden för hybrider

Den mest sålda elhybridbilen, Toyota Prius, har redan nått sitt fjärde utvecklingssteg och Toyota som har nått 500 000 sålda fordon under 2007 justerar upp prognoserna och tror att över 1 miljon elhybrider kommer att tillverkas årligen redan så tidigt som 2009.

Konkurrensen om kundernas intresse för elhybrider ökar raskt vilket sätter stor press på biltillverkarna. Redan under 2008¹⁸, avser Ford att ha minst fem modeller lanserade. Fords planer är att öka hybridbilsproduktionen till närmare 250 000 per år.

The California Cars Initiative (CalCars) är exempel på en lobbyorganisation bestående av en mängd entreprenörer, ingenjörer och samhällsrepresentanter, som alla vill se lågmissionsfordon utvecklas. Man strävar efter miljövänliga fordon och försöker nu på många olika sätt intressera både biltillverkare och allmänheten att ta fram hybridfordon som kan köras 100+ miles per gallon bensin.

EDrive Systems i Kalifornien, liksom företaget Hymotion kan konvertera en Toyota Prius till plugin elhybrid för en kostnad runt 15 000 dollar. I detta ingår då Nickel metallhydrid eller Litium-jon batterier om 5 kWh och elektronisk övervakning, styrdator m.m. Man tror att ett "uppgraderingskit till hybrider" kommer att kosta kring 7000 – 8000 dollar när volymerna ökar. Biltillverkarna är dock föga intresserade av uppgraderingsmöjligheterna.

3.2 Europeiska personbilsmarknaden

I Europa (EU-25) uppskattar man att det för närvarande finns drygt 250 miljoner personbilar. Med livslängder runt 10 år, samt årlig tillväxt av fordon uppgår till drygt 1 procent innebär det att mer än 20 miljoner nya fordon säljs per år inom Europa. Miljöbilsandelen växer snabbt i ett flertal länder.

¹⁸ <http://www.hybridcenter.org/hybrid-timeline.html>

3.2.1 Nordiska personbilsmarknaden

I Norden finns ca 11 miljoner personbilar, vilket utgör drygt 5 procent av personbilarna i Europa. Antalet miljöbilar växer stadigt i de nordiska länderna. Med en ökande miljömedvetenhet, samt de privatekonomiska fördelar som följer med exempelvis hybrider och plug-in hybrider kan man göra antagandet att alla typer av hybridfordon kommer att röna ett stort intresse. Hur stor andel som plug-in hybrider kommer att utgöra, är svårt att säga idag. Scenarierna i kapitel 4 kommer dock att utgå från olika tänkbara framåtskrivningar. (För mer information kring personbilsmarknaden i Norden se Appendix 1).

3.2.2 Svenska personbilsmarknaden

Totalt finns idag drygt 4,3 miljoner personbilar i Sverige och tillväxten under den senaste 10-års perioden har pendlat kring drygt en procent. Under 2007 nyregistrerades över 36 600 miljöbilar i Sverige, vilket är en ökning med 156 procent, jämfört med året innan. Totala andelen miljöbilar uppgick därmed till 13,5 procent av totala antalet nybilsregistreringar (306 000) under 2007¹⁹. I november 2007 var så många som 22,7 procent av alla nybilar en miljöbil.

3.3 Hinder för marknadsintroduktion av Plug-in hybrider

Under 80 och 90 talet genomfördes ett flertal studier där man analyserade fördelar och nackdelar med introduktion av framförallt elbilar i Sverige²⁰. Bland annat observerades ett flertal hinder för en snabb introduktion av elfordon och troligtvis även plug-in hybrider. Exempelvis:

- Kostnaderna
- Tekniska faktorer (batterier, livslängd, laddning, underhåll, service)
- Geografiska begränsningar (t.ex. begränsningar av drivmedelstillgång)
- Säkerhetsfrågor
- Informationsbrist
- Brist på samordning mellan marknadsaktörer

3.3.1 Kostnader

Kostnaden för plug-in hybrider kommer framförallt att bestämmas av behovet av ett större energilagrar (batteri), laddningssystem, elektriska motorer, generator, styrsystem och kablage.

Ur "Well-to-Tank rapporten"²¹ samt "Tank-to-Wheel" rapporten²² görs en uppskattning att merkostnaden för en elhybrid kommer att bli minst 20 procent högre än motsvarande konventionella fordon. Idag uppskattar man att merpriset för elhybrider ligger mellan 3000 till 5000 Euro högre än motsvarande konventionella fordon. Uppskattningsvis skulle därför en plug-in hybrid, med ett väl tilltaget batteri, inledningsvis kunna komma att bli upp mot 50 procent dyrare än en konventionell bil. Det är dock svårt att exakt spå hur biltillverkarna kommer att prissätta de första plug-in hybriderna.

¹⁹ <http://www.bilsweden.se>

²⁰ The cost and benefits of electrical vehicles; F. Carlsson, O Johansson-Stenerud, dept. of economics, Göteborg University; KFB Rapport 2000:46

²¹ "Well-to-Tank", Report, version 2b, May 2006

²² "Tank-to-Wheel" Report, version 2b, May 2006

I fallet med en plug-in hybrid skulle ett pris på närmare 30-50 procent högre än ett konventionellt fordon ändå kunna bli ett konkurrenskraftigt alternativ om man sparar in mellanskillnaden genom dels lägre milkostnad, dels via olika styrmedel som gynnar fordonen.

3.3.2 Tekniska faktorer

Den faktor som för närvarande tilldrar sig största intresset är säkerheten hos Litium-jon batterierna. Under 2006 uppstod ett antal bränder i några Litium-jon batterier (dock ej för biltillämpningar) och stora resurser läggs nu på att kunna tillverka batterier som inte kan börja brinna.

Om säkerhetsaspekten idag är viktig så är energilagring förmågan den dominerande. Även om potentialen finns för lagringskapaciteter runt 200- 300 Wh/kg är dagens batterier relativt måttliga under 100 Wh/kg. Den tekniska utveckling som erfordras berör både tillverkningen av säkra batterier som att ta fram batterier vilka kan tillverkas till låga kostnader.

3.3.3 Begränsad tillgång till laddning

Ett hinder för en storskalig introduktion av plug-in hybrider skulle kunna vara att tillgången till el-anslutningar för laddning är begränsad. En villaägare och den som har tillgång till garage skulle troligen lätt kunna ordna laddning under parkeringsperioden när bilen är vid bostaden.

Däremot kan bilister som bor i städerna (och utan tillgång till garage/särskilda parkeringsplatser) få svårigheter med dygnsladdningen, såvida inte laddningsparkeringar inrättas i lämpligt antal. Genom de elbilssatsningar som skedde både under 80- och 90-talet, samt det stora antalet uttag för motorvärmare som installerats genom åren finns dock en latent infrastruktur redan förberedd. Enligt uppgift finns nedgrävda kablar vid många parkeringsområden och uttag förberedda i parkeringshus m.m.

3.3.4 Säkerhetsfrågor

En fråga som har behandlats när det gäller elbilar har varit elsäkerheten. Utvecklingen av hybridfordonen visar nu att systemspänningen ökar mot 500-600 V. Detta innebär vissa hanteringsrisker och säkerhetsaspekterna är många kring hur man skall förfara vid olyckor, tankning av flytande drivmedel etc. På samma sätt måste frågeställningar kring elektromagnetiska fält och elektroniska störningar som kan påverka färddatorer, styrelektronik etc. fordonen klarställas.

Andra säkerhetsfrågor rör krocksäkerhet när fordon förses med energitäta Litium-jon batterier.

3.3.5 Informationsbrist

Informationsbristen kan liksom felaktig information få negativa konsekvenser för en marknadsintroduktion av plug-in hybrider. Alltför tidiga insatser med att marknadsföra plug-in hybrider som tillgängliga, med felaktiga prisbilder, överskatta körsträckor etc. skulle kunna skapa förväntningar som inte kan uppfyllas. Felaktig information skulle

kunna innebära att exempelvis olika infrastrukturprogram orienteras felaktigt, utnyttjar olämpliga tekniska lösningar och kostar pengar pga. av att de ej kan utnyttjas etc.

En central fråga är också vilken information som ges beträffande miljöegenskaper och vilka utgångspunkter som ligger bakom t.ex. miljövärderingen av den el som fordonen laddas med.

3.3.6 Brist på samordning mellan marknadsaktörer

Idag råder viss förvirring när det gäller klassificering av s.k. miljöfordon. Skatteverket, Vägverket, storstadskommunerna m.fl. tillämpar i vissa hänseenden olika definitioner på vad som är en miljöbil eller inte. Detta leder till att många som potentiellt skulle vara intresserad att införskaffa hybridfordon än så länge väntar för att lagstiftningen och andra regelverk skall klaras ut vad gäller för miljöbilarna.

3.4 Sammanfattning

Marknaden för plug-in hybrider i Sverige och Norden kan bli relativt stor. Med totalt ca 11 miljoner fordon i Norden och en tillväxt som historiskt varierat mellan 0,8 procent och 2,3 procent uppgår nybilsförsäljningen i de nordiska länderna till närmare 1 miljon fordon årligen. Skrotningen av gamla fordon uppgår till i medeltal ca 7 procent per år. Trenden i Sverige och Finland har varit mot tyngre och större personbilar, vilket visat sig i statistiken som högre bränslebehov än genomsnittet inom EU.

Trenden inom miljöbilsområdet har varit kraftigt ökande, även om inte detta direkt visat sig som en ökad andel elhybrider. Skälet till detta är troligen att privatbilar bedömer elhybrider som alltför dyra i dagsläget tillsammans med ett litet utbud²³.

Det är i nuläget närmast omöjligt att bedöma marknadsutvecklingen för plug-in hybrider. Inom miljöbilsområdet konkurrerar många olika koncept med varandra. Helt klart har plug-in hybrider en mycket betydande potential. Det som talar till plug-in hybridernas fördel är bl.a:

- Fordonen är mycket energieffektiva genom att elmotorn kan utnyttjas under en stor del av fordonens körsträcka
- Fordonen kan bidra till att kraftigt minska utsläppen av koldioxid
- Fordonen kan bidra till att kraftigt minska oljeberoendet
- El är förhållandevis billigt i förhållande till andra drivmedel vilket ger lägre körkostnader
- Drivmedel baserade på biomassa kan bara försörja en mycket begränsad del av världens fordonsflotta om dessa i huvudsak drivs via förbränningsmotorer. Däremot räcker biobaserade drivmedel till betydligt fler fordon om dessa utgörs av plug-in hybrider

Till fordonens nackdel talar idag framför allt bilarnas höga kostnader samt osäkerheten om batteriernas prestanda och tillförlitlighet. Avgörande för marknadsutvecklingen både på kort och lång sikt är sannolikt en kombination av bl.a. följande faktorer:

- Fordonens prestanda och tillförlitlighet
- Fordonens pris i förhållande till andra alternativ
- De konkurrerande alternativens tekniska och miljömässiga prestanda
- Prisutvecklingen för (dvs. tillgång till) olja och alternativa drivmedel

²³ Enbart fem modeller på den Svenska marknaden

- Prisutveckling för el
- Vilka framtida politiska beslut som fattas i syfte att begränsa utsläppen av koldioxid och att minska oljeberoendet
- Om plug-in hybrider kommer att klassas som miljöfordon och politiska beslut rörande styrmedel till dessa fordon
- Hur el i framtiden miljövärderas
- Att infrastrukturen för laddning av fordonen byggs ut i paritet med ökat antal plug-in hybrider

Värt att notera är att i dagsläget – hösten 2007 - finns inga plug-in hybrider att köpa. Några fordon testas i dag i vägtrafik och vi kommer sannolikt att se ett ökat antal fordonstester med allt fler märken under 2008 och 2009. Många av dessa tester och demonstrationer kommer att ske i samverkan med bl.a. elföretagen. Bl.a. har Toyota/EDF och Ford/Edison Electric aviserat sådana demonstrationer²⁴.

Baserat på den information som Elforsk har tillgång till och olika uttalanden från fordonsindustrin tyder mycket på att plug-in hybrider kan bli kommersiellt tillgängliga i begränsat antal runt 2010 eller strax därefter. Sannolikt kommer dock större serier av plug-in hybrider att finnas tillgängliga först kring 2015.

²⁴ <http://transports.edf.fr>

4 Ekonomiska aspekter på introduktion av plug-in hybrider

I Norden körs merparten av personbilarna mindre än 50 km per dag. Det innebär att även relativt små energilager²⁵ skulle kunna användas för dagliga transporter i de flesta fall.

Tester på elhybrider som genomförts i USA har visat på energiförbrukning om ca 100-150 Wh/km vid ren eldrift och hastigheter kring 70 km/tim. Förbrukningen ökar med fordonens storlek och det finns uppgifter som anger 200 – 300 Wh/km. I praktiken beror energiförbrukningen i stor omfattning av vindmotstånd och rullningsfriktion, vilka båda är starkt hastighetsberoende. I denna studie har vi genomgående antagit att plug-in hybrider förbrukar 200 Wh/km i eldrift (vilket troligtvis är konservativt räknat).

4.1 Privatekonomiska aspekter

I studien från EPRI, "Comparing the Benefits and Impact of Hybrid Electric Vehicle Operations"²⁶ redovisas resultaten från jämförelser mellan elhybrider och konventionella fordon. Slutsatsen som dras i studien är att elhybriderna erbjuder minst samma prestanda som konventionella fordon, men också uppvisar en kraftigt reducerad miljöpåverkan. Beträffande kundacceptansen är många bilköpare redan nu benägna att köpa elhybrider även om dessa i inköp kostar mer än konventionella fordon. Dagens prisnivåer ligger åtminstone 30,000 – 60,000 kr över konventionella fordon.

I artikeln "Driving the Solution"²⁷, framgår att elhybriderna ger en ca 30 procent förbättring av bränsleekonomin. Detta beroende på att förbränningsmotorn nästan aldrig går på tomgång utan när den används körs på optimal förbränning och då laddar batterierna. Med användning av s.k. regenerativ bromsning, kan dessutom en hel del energi återvinnas när man bromsar.

Med dagens elpriser och bensinpriser skulle en bilist som kör 15,000 km per år²⁸ spara närmare 12,000 kr per år genom att till 100 procent "köra på el" jämfört med en konventionell personbil, som drar låt säga 0,9 liter/mil. Denna "eldrift" innebär en kostnadsbesparing om närmare 75 procent. Kör man fordonet, säg 30 procent av årskörsträcken på fossilt bränsle, minskar besparingen till ca 7 kr/mil med dagens bränslepris kring 12 kr/liter.

Skulle fordonet vara en hybrid (ej laddningsbart) med bränsleförbrukning kring dagens nivåer för hybrider, ungefär 0,5 liter/mil, skulle kostnadsbesparingen bli drygt 66 procent.

4.2 Skatter, avgifter och subventioner

Styrmedel som skatter, avgifter och subventioner m.m. kan användas för att påverka marknaderna i en för miljön gynnsam inriktning. I Sverige har skatteinstrumentet stor betydelse, men skatter är såväl fiskala som styrande och det är inte alltid som den

²⁵ Upp mot 10 kWh

²⁶ Comparing the Benefits and Impacts of Hybrid Electric Vehicle Operations; Final Report, TR 1000349, EPRI

²⁷ Driving the Solution, Lucy Sanna; EPRI Journal, Fall 2005

²⁸ Antaget bensinpris 12 kr/l, Elpris 1 kr/kWh

styrande effekten får önskat genomslag. Energi- och koldioxidskatt belastar idag de flesta drivmedel. Fordonsskatten används både i Sverige, de nordiska länderna och EU, som ett instrument för att gynna mer miljövänliga fordon. I övriga världen gäller:

- USA har valt att gå via frivilliga överenskommelser med bilindustrin och definierat standarder för olika utsläppsgränser beroende på bilmodell.
- EU har satsat på både frivilliga avtal med fordonsindustrin och drivit igenom regleringar, som rör utsläpp och beskattning.
- Japan har satsat på en rad olika åtgärder för att minska utsläppen, bland annat ges subventioner till inköp av el- och hybridfordon.

4.3 Subventioner för miljöfordon i Sverige

Vattenfall och IEA/LTH²⁹ har studerat konsekvenserna av olika politiska medel för att underlätta introduktionen av bl.a. plug-in hybrider. Beräkningarna har utgått från den standardiserade amerikanska körcykeln, NEDC, en plug-in hybrid med 140 resp. 75 kg Litium-jon batteri och en merpris för plug-in hybridiseringen på drygt 47 000 SEK.

Resultatet visar att med ett antaget bensinpris på ca 11-12 kr är återbetalningstiden för fordonet drygt 8-9 år. Den höga kostnaden och långa återbetalningstiden skulle göra åtminstone mindre plug-in hybrider ointressanta för medel konsumenten.

Olika policyinstrument kan dock sänka återbetalningstiden till närmare 2-3 år, se tabell 4.1 Studien visar på vikten av att noggrant analysera behovet och inriktningen av styrmedel för plug-in hybrider.

*Tabell 4.1. Jämförelse mellan olika policyinstrument för plug-in hybrider (miljöfordon).
Ref: LTH/IEA Prof. Mats Alaküla*

Policy instrument		Payback time [Year]	
		NEDC 140 kg battery	NEDC 75 kg battery
No policy instrument		9,05	5,24
Doubled CO ₂ tax		6,38	3,7
Reduced tax for car provided by employer	by 16000 kr	2,20	1,27
	by 8000 kr	3,54	2,05
No road toll (Stockholm example)		3,07	1,78
Decreased motor-vehicle tax due to real emissions		7,55	4,37
CO ₂ emission trade (20 € per ton CO ₂ emissions)		8,46	4,90
Increased price due to EU legislation ³⁰ (+ 3650 €)		2,66	negativ
10000 SEK subvention for environmental car		7,10	3,29

²⁹ VATTENFALL/IEA/LTH examensarbete 2007

³⁰ Merpris uppskattad för att kunna möta EU6 kraven

5 Några tänkbara framtidsscenarioer

I detta avsnitt presenteras några tänkbara framtidsscenarioer. Inledningsvis behandlas frågan om hur utvecklingen av plug-in hybrider kommer att se sig mot bakgrund av att även konventionella fordon utvecklas allt mer vad gäller miljö och energiprestanda.

De flesta fordonstillverkarna har idag ambitiösa utvecklingsprogram för bränsleeffektivare personbilar. Hybridteknologin kommer med all sannolikhet att introduceras i ett stort antal bilmodeller inom en 10-års period för att möjliggöra begränsningar av koldioxidutsläpp och lägre drivmedelsförbrukning.

Utvecklingen inom batteriområdet talar för att energilager i framtida elhybrider skulle kunna möjliggöra lagringskapaciteter upp mot 40 -50 kWh eller mer. Detta skulle på sikt medföra aktionsradier upp mot minst 20 - 25 mil i ren eldrift. I scenarierna nedan har dock batteristorleken antagits till 10 kWh och laddningsbehovet begränsats till ca 8 kWh³¹, svarande mot ca. 40 km eldrift.

5.1 Fyra utvecklingsscenarioer

Nedan beskrivs fyra olika utvecklingsscenarioer för plug-in hybrider i Sverige samt ett referensscenario, som utgår från att inga (eller mycket få) plug-in hybrider kommer att lanseras. Elbehovet har bl.a. utretts av Vattenfall Utveckling i en specialstudie³².

Scenarierna skall inte betraktas som utsagor utan syftar till att visa på hur bl.a. koldioxidutsläppen, elbehovet och oljeanvändningen förändras vid olika andel plug-in hybrider. Ett flertal osäkerheter finns i bedömningarna. Tillväxten av personbilsflottan är ett exempel. Kommer plug-in och tillkomsten av elfordon att förskjuta mönstret? Hur kommer konventionella fordon att utvecklas. Kommer vi att få radikalt förändrade körvanor? Vad händer med drivmedel, priser och skatter? Listan kan göras lång.

5.1.1 Referensscenario utan plug-in hybrider

Detta scenario (**scenario 0**) är ett referensscenario som utgår från **att inga eller mycket få plug-in hybrider** kommer att marknadsföras. Däremot kommer elhybridfordon i olika former att förekomma. Referensscenariot utgår från en tillväxt av fordonsflottan om ca 0,8 procent per år personbilsflottan växer från 4,3 miljoner (2007) till 4,6 miljoner 2020 samt till 5 miljoner under perioden fram till 2030.

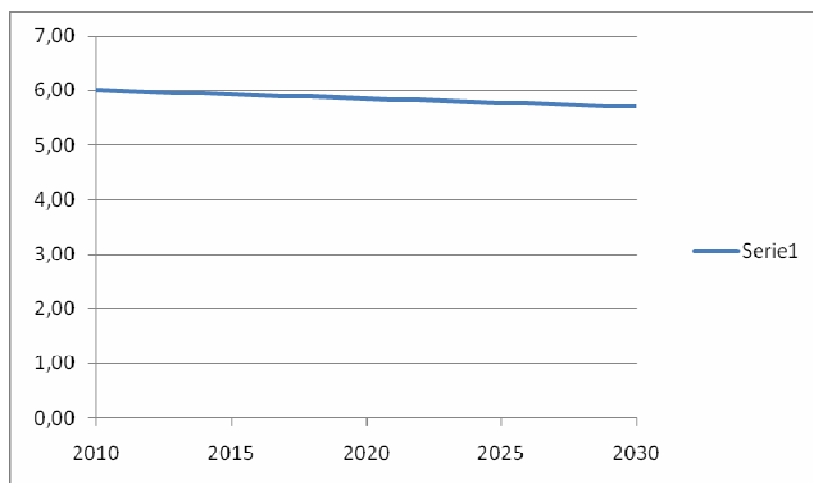
Figur 5.1 visar hur drivmedelsförbrukningen förändras vid ett antagande om att medelförbrukning för personbilar i Sverige, som idag uppgår till 0,93 l/mil³³ kommer att sjunka till 0,76 l/mil år 2030³⁴. Det betyder att drivmedelsbehovet år 2030 skulle kunna bli ca 5 procent lägre än dagens behov, inkluderat den växande fordonsflottan. I referensscenariot minskar därför utsläppen av koldioxid med 5 procent på grund av förbättrad bränsleeffektivitet. Ingen övergång till biobränslen har antagits i detta referensfall.

³¹ Batterierna kommer troligtvis att begränsa energiuttaget till ca 80 procent för att undvika för stor stress

³² Plug-in hybrid electrical vehicles: A capacity study: Vattenfall Utveckling, Report U06:131, 13 mars 2007

³³ Baserad på SIKAs statistik om 6 miljarder liter drivmedel och 6.5 miljarder km personbilssträcka per år.

³⁴ EU kravet på mindre än 120-130 g CO₂/km kommer dock att kräva betydligt lägre förbrukning för nya bilar



Figur 5.1 Drivmedelsförbrukning i referensscenariot (miljard liter)

5.1.2 Scenariobeskrivningar

Scenarierna 1 till 4 innebär alla en kraftig marknadstillväxt om 1, 2, 3 respektive 4 miljoner plug-in hybrider under en tidsperiod på 20 år fram till år 2030, vilket motsvarar en medelförsäljning av plug-in hybrider mellan 50 000 till 200 000 årligen. Dagens nybilsförsäljning uppgår till drygt 300 000 personbilar.

Scenarierna antar att den totala personbilsflottan är växer med 0,8 procent per år och under 2030 uppgår till 5 miljoner fordon i Sverige. Utvecklings scenarierna omfattar dessutom att 30 procent av plug-in hybriderna och 20 procent av de konventionella fordonen drivs med alternativa miljöbränslen (etanol, biodiesel).

Scenario 1 – Långsam tillväxt - 1 miljon PHEV

Detta scenario utgår från att plug-in hybrider lanseras kring 2010. Tillväxten beräknas vara ca 50 000 fordon per år, vilket innebär att ca 15 procent av all nybilsförsäljning kommer att vara en plug-in hybrid.

Scenario 2 – Måttlig tillväxt – 2 miljoner PHEV

Detta scenario innebär att antalet plug-in hybrider växer med ca 30 till 35 procent per år. Med andra ord skulle upp till vart tredje nyregistrerat fordon vara en plug-in hybrid.

Scenario 3- Hög tillväxt – 3 miljoner PHEV

Detta scenario, vilket innebär en tillväxt på 3 miljoner fordon, svarar mot ca 150 000 plug-in hybrider per år, alltså närmare 50 procent av nybilsförsäljning kommer att vara en plug-in hybrid.

Scenario 4 – Mycket hög tillväxt – 4 miljoner PHEV

Detta scenario som innebär upp mot 4 miljoner plug-in hybrider kring 2030 motsvarande 80 procent av samtliga fordon.

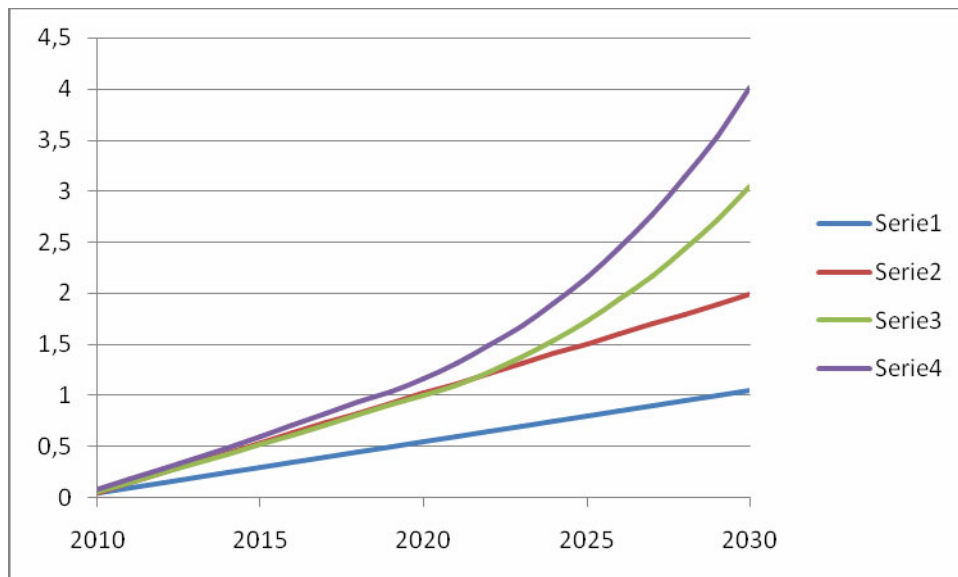
Beräkningsförutsättningar

De beräkningsförutsättningar för drivmedelsbehov, elbehov samt koldioxidutsläpp som använts, baseras på några enkla övergripande antaganden kring utnyttjandet av plug-in

hybrider. Antalet körda km är 15 000 per år. Batteriet laddas med 8 kWh per dygn, 365 dagar per år. Överförings och laddningsförluster uppgår 15 procent. Plug-in hybrider kör 30 procent på fossilt bränsle, dvs. 450 mil per år (således 1050 mil på el). Fordonet drar 2 kWh/mil i eldrift. Konventionella fordon förbrukar 0,76 l/mil, plug-in fordon 0,5 l/mil. Tillkommande elproduktion är koldioxidfri.

5.2 Jämförelser mellan scenarierna

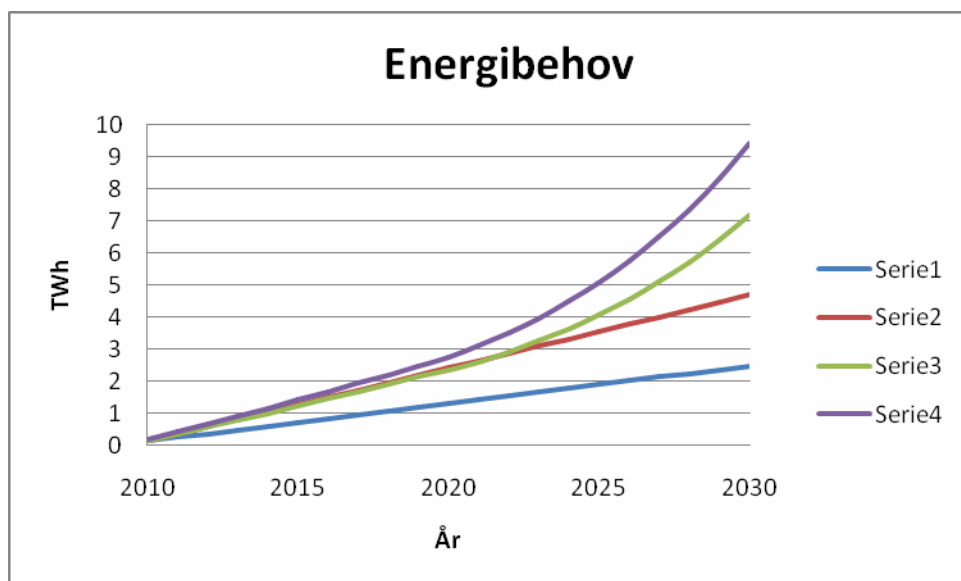
I nedanstående figur 5.2 visas antalet plug-in hybrider i de fyra scenarierna. Scenario 1-2 är relativt långsamt tillväxande medan Scenario 3-4 visar på en expansiv (exponentiell) utveckling av plug-in hybriderna efter 2020. Den initiala perioden 2010-2020 karakteriseras huvudsakligen av en linjär tillväxt upp till maximalt 1 miljon plug-in hybrider (Scenario 2), svarande mot en andel av drygt 20 procent plug-in hybrider.



Figur 5.2. Antalet plug-in hybrider i de fyra scenarierna i miljoner fordon

5.2.1 Uppskattning av energibehovet

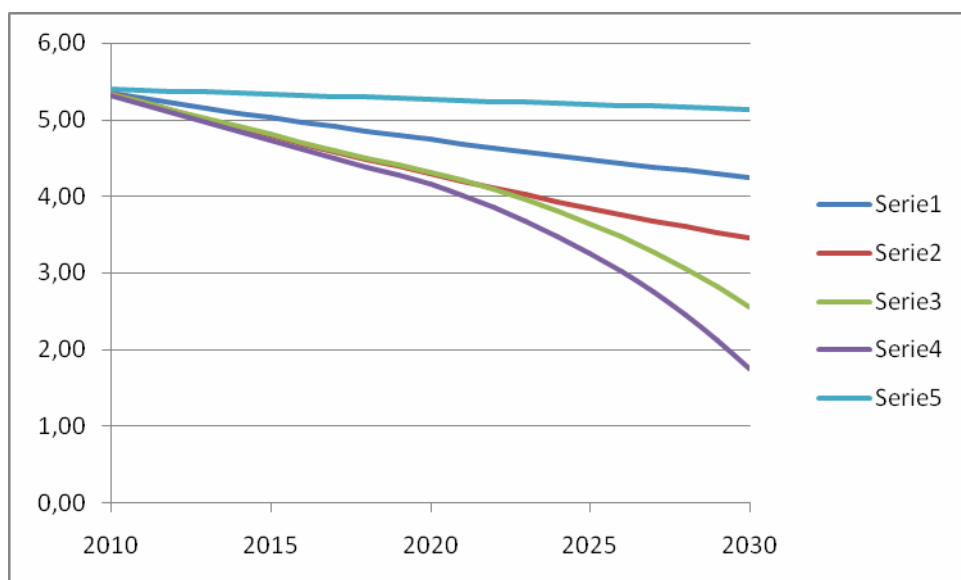
Det uppskattade energibehovet i de fyra scenarierna framgår ur figuren 5.3 på nästa sida. I beräkningarna har antagits en 5 procent energiförlust beroende på överföring och distribution av el, samt en 10 procent energiförlust i laddningsaggregaten. Här framgår att energibehovet kommer att uppgå från 2,5 TWh till drygt 10 TWh per år givet en plug-in-hybrid-flotta mellan 1 och 4 miljoner fordon.



Figur 5.3. Uppskattade energibehovet av el (TWh) för de fyra scenarierna

5.2.2 Uppskattning av drivmedelsbehovet

Drivmedelsbehovet, sammantaget för konventionella och plug-in hybrider framgår av figur 5.4. Totalt minskas drivmedelsbehovet med ca 1,2 (Scenario 1) till 4 miljarder liter (Scenario 4) vilket svarar mot närmare 20 till 66 procent jämfört med dagens behov. I praktiken kan dock denna minskning bli större genom ökad andel miljöfordon i den konventionella bilflottan, samt att även plug-in hybrider drivs på biobränslen.



Figur 5.4. Drivmedelsbehovet i miljarder liter i de fyra scenarierna. Översta kurvan, serie nr 5, är referensscenariot.

6 Kan vi nå klimatmålen till 2020?

6.1 Koldioxidutsläpp från transportsektorn

Idag orsakar transporter i Sverige ett CO₂ utsläpp om uppskattningsvis ca 24 miljoner ton per år. Dessa utsläpp orsakas av drygt 10 miljarder liter fossilt bränsle³⁵. Om vi antar att 10 procent av dieseldrivmedlet används till personbilar, får vi en total bränsleförbrukning kring nästan 6 miljarder liter årligen. Detta skulle svara mot en total utsläppsnivå om drygt 14 miljoner ton/år alltså, ca 47 procent av totala CO₂ utsläppen från vägtrafiken kommer således från personbilarna. Resterande utsläpp 10 miljoner ton kommer från tunga transporter, bussar, traktorer, motorredskap m.m.

Baserat på den tekniska utveckling som delvis beskrivs i kapitel 2 kan vi utgå från att fordonstillverkarna fortsätter att ansträngningarna sig att ta fram allt bränsleeffektiva fordon. Från dagens fordonsflotta, som förbrukar i genomsnitt 0.93 l/mil³⁶ är det ganska troligt att genomsnittet av fordonsflottan om 13 år (2020) kommer att kunna förbättras med uppskattningsvis ca 1 procent per år och medelförbrukningen i genomsnitt ligger vid ca 0.84 l/mil under 2020 samt 0,76 l/mil under 2030.

Om vi inledningsvis antar att personbilsflottan kommer att öka i enlighet med den senaste 10-årstrenden (0,8 procent/år), kommer drivmedelsbehovet att öka från dagens 5-6 miljarder liter till närmare 7 miljarder liter fram till år 2030. Genom förbättrade motorer kommer dock samtidigt en minskning av drivmedelsbehovet att ske till ca 5.7 miljarder liter. Dvs. vi kan komma att få en nettominskning med drygt 1 procent/år. Utsläppen av CO₂ skulle därmed minska med drygt 5 procent fram till 2030. Minskningen fram till 2020, med totalt 4.6 miljoner fordon skulle alltså kunna svara mot drygt 2 procent reduktion genom bränsleeffektiva och förbättrade motorer.

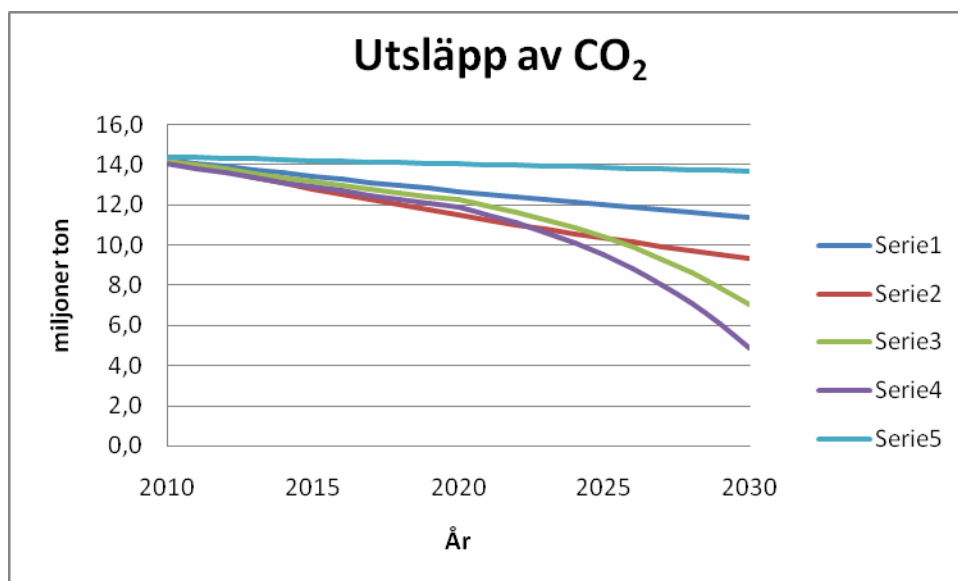
6.2 Plug-in hybrider kan kraftigt minska koldioxidutsläppen

Tillkomsten av plug-in hybrider innebär att utsläppen av koldioxid minskar rejält, se figur 6.1. I dessa beräkningar ingår inget tillkommande koldioxidutsläpp för elproduktionen. I vissa fall kan sådana utsläpp tillkomma se vidare i kapitel 8.

Tillkomsten av 1 respektive 2 miljoner plug-in hybrider år 2030 skulle kunna sänka utsläppen av koldioxid med 2 respektive 4 miljoner ton. Tillkomsten av 3 respektive 4 miljoner plug-in hybrider, skulle sänka koldioxidutsläppen med 7 respektive 9 miljoner ton.

³⁵ Ger plugin någon miljövinst? ; Per Kågesson, Nature Associates, Göteborg 22 nov 2006

³⁶ 4,3 miljoner fordon, 15,000 km/ fordon ger totalt 64,5 miljarder personbilskm



Figur 6.1 Maximal nivå (miljoner ton) för minskade CO₂ utsläpp för Scenarierna 1-4 (utan tillkommande utsläpp för generering av el). Översta kurvan i figuren, Serie1, svarar mot referensscenariot.

Om vi antar att medelbilen år 2020 drar 0,84 l/mil och plug-in hybriden 0,5 l/mil kommer det att krävas 870.000 plug-in hybrider för att erhålla en 20 procentig minskning av koldioxidutsläppen för personbilar. Detta antal plug-in hybrider skulle behöva drygt 1,9 TWh el. Om vi dock antar att inblandningen av etanol i bensin och biodiesel i dieseloljan ökar från dagens 2,3 procent till 10 procent (en ökning med 7,7 procent) räcker det med enbart 600.000 plug-in hybrider fram till 2020. Elförbrukningen skulle därmed öka med endast ca 1,3 TWh.

Om man gör räkneövningen att nybilsförsäljningen av plug-in hybrider i Sverige skulle växa från 10.000 fordon första året och efter 10 år uppgå till 100.000 fordon per år skulle antalet plug-in hybrider efter ca 10 år uppgå till 600.000 fordon. Detta förefaller inte som en helt omöjlig utmaning, men utvecklingen ligger i stor utsträckning i politikernas händer när det gäller utformningen av styrmedel.

7 Inverkan på elnätet från storskalig introduktion av plug-in hybrider

Det svenska elsystemet är mycket robust, och även en massiv introduktion av plug-in fordon bedöms inte få några stora konsekvenser för elnäten. Det bör dock påpekas att för speciella anläggningar, som parkeringshus, köpcentra etc. där potentiellt många plug-in hybrider kan tänkas vilja ansluta sig för laddning under någon/några timmar, är kanske elsystemen idag inte rätt dimensionerade. Detta torde dock inte vara något större problem, då elsystemen kan graderas upp, transformatorer bytas etc.

I de fyra scenarier som behandlats, uppgår det sammanlagrade effektbehovet till max 2,900 MW, vilket skall jämföras med det normala effektuttaget som idag varierar mellan 12 000 och 29 000 MW.

Eftersom plug-in hybridernas krav på laddning inte överstiger dagens krav på exempelvis motorvärmare bedöms elnätets förmåga att kunna hantera lasten vara god.

7.1 Infrastrukturen för laddning

Med en ökande andel plug-in hybrider i personbilsflottan uppkommer frågan kring laddningen av fordonen, som tidigare har varit aktuell enbart för batteribilarna. Skillnaden idag är att elhybriderna inte är 100 % beroende av elen utan kan röra sig relativt obundet med hjälp av sitt bränsle. Detta öppnar också för mer avancerade och specialiserade laddningsmöjligheter och nya affärsmöjligheter för både elbolagen och entreprenörer.

Infrastrukturen för laddning skulle kunna omfatta ett flertal koncept för exempelvis:

- Nattladdning
- Dagsladdning
- Snabbladdning
- Laddning under färd

Laddning från förnyelsebar elproduktion

En Dansk studie visade att om hela den danska personbilsflottan (1,9 miljoner fordon) konverterades till plug-in hybrider, skulle 300 havsbaserade vindkraftverk om 3 MW räcka för att uthålligt kunna försörja dessa fordon. Drygt 6000 kr per fordon skulle räcka för att finansiera utbyggnaden av den erforderliga vindkraften. Omräknat skulle svenska förhållanden skulle det behövas ca 300 stycken havsbaserade vindkraftverk på 5 MW för att klara energitillförseln till ca 2 miljoner plug-in fordon.

För en jämförelse med vindkraftsel kan vi även bedöma hur stor åker/skogsareal som behövs för att producera biobränsle/el till plug-in hybrider.

Björn Sandén på Chalmers har bl.a. angivit att etanol från vete kan produceras med effektiviteten 1 kWh/m². Om samma yta skulle användas för solceller kan man producera 100 ggr mer energi, alltså 100 kWh/år. En solcellsanläggning på taket om 15 m² a 150 000 SEK skulle således kunna försörja en plug-in hybrid med 1500 kWh per år under hela dess livslängd.

7.2 Infrastruktur för natt- och dagladdning

Om vi exempelvis utgår från en måttlig andel plug-in hybrider (20 procent) i den nordiska mixen, dvs. 1 miljon fordon med en nominell batterikapacitet om 10 kWh och "el-tankning" om 4 kWh två gånger per dygn, skulle den sammanlagda energimängden i dessa fordon svara mot 8 GWh per dygn.

Det ökade behovet skulle sammantaget kräva en effekt på högst 2000 MW, fördelat på 1 miljon anslutningspunkter, med ca 2 kW laddningskapacitet vardera om samtliga fordon laddas exakt samtidigt. Långsamladdar vi bilen på 8 tim, blir effektbehovet istället 1000 MW eller 1000 W per fordon

Det innebär att laddningssystemet klaras väl med konventionella elmätare och 220 V system med 10A säkring. (De elhybrider som nu uppvisas har i regel en standardiserat anslutningsdon för anslutning till lågspänningssystemet.)

Laddningsbehovet för plug-in hybrider bestäms av batteristorlek och eventuell begränsningsfunktion i laddaren. Följande tabell visar på uppskattade laddningstider för olika laddningssystem

Tabell 7.1. Laddningstider för 8 kWh batteri vid olika laddningseffekter

Typ	230V 10A	230V 16A	400V 16A	400V 32A	400V 63A
	1-fas	1-fas	3-fas	3-fas	3-fas
Max laddningseffekt (kW)	2,3	3,7	11,1	22,2	43,6
Tid för full laddning (100%)	3 tim 30 min	2 tim 15 min	45 min	22 min	12 min

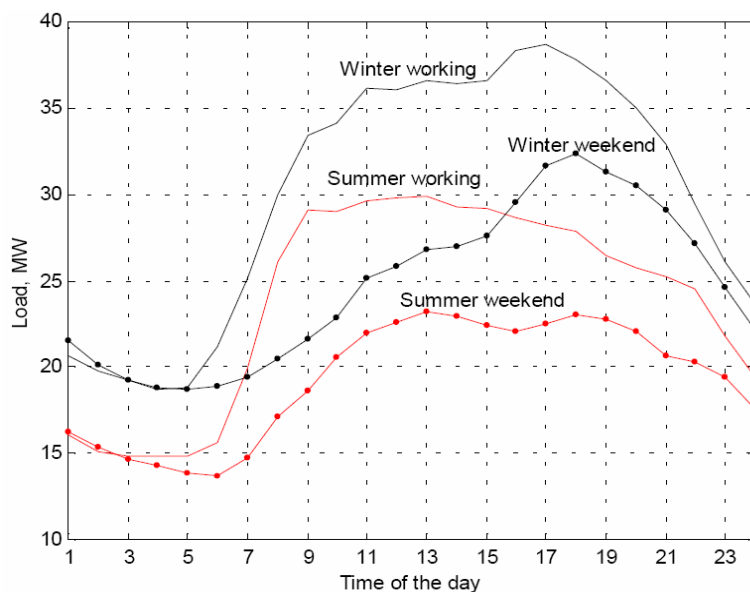
Vattenfall³⁷ har studerat vilken inverkan på elnätet som en storskalig introduktion av Plug-in hybrider skulle medföra. Studien har utgått från en linjär tillväxt av antalet plug-in hybrider från 2010 fram till 2022, då antalet fordon skulle uppgå till närmare 660 000 fordon (dvs. närmare en procent av fordonsflottan). Man har utrett nätpåverkan då laddningsbehovet per fordon uppgått till 1000, 2000 respektive 3000 kWh per år.

Ett normalt laddningsförfarande för Litium-jon batterier är att laddningen sker vid konstant spänning med strömbegränsande funktion³⁸. När cellspänningen når 4.2 V avbryts laddningen eller så sker detta när laddningsströmmen understiger 7 procent av den initiala laddningsströmmen. Detta innebär att 90 procent av laddningen sker under den första timmen och resterande laddning sker under påföljande timmar (vid begränsad laddning till ca 1-2 kW).

En full laddning av ett stort batteri (8 kWh) tar således ca 3-4 tim. Om man jämför laddningssystemet med konventionella hushållsapparater är effektbehovet i samma storleksordning som en diskmaskin, dammsugare eller tvättmaskin.

³⁷ Vattenfall: Plugin hybrid electrical vehicles: A capacity study: Vattenfall Utveckling, Report U06:131, 13 mars 2007

³⁸ Brukar kallas "konstanström-konstantspänningsladdning"



Figur 7.1 Effektbehovet för en typisk 110 kV nätstation i Sverige under kalla vinterdagar och sommar. Kritisk punkt är vid 17 tiden under kalla vinterdagar då nätet är mest belastat.

7.3 Infrastruktur för trådlös laddning

Olika idéer har förts fram avseende möjligheten för mer avancerade laddningssystem och vissa patent har utvecklats för bl.a. induktiva laddningsmetoder. Gemensamt för dessa är att de i regel kräver att fordonet placeras över en given "märkt" yta eller i nära anslutning till en induktiv antenn.

Honda har dock i en av sina visioner förespeglat att fordon borde kunna tankas från elnätet även under färd. I princip är detta en relativt enkel metod. Fordonen förses med en mottagarantenn, vilken skulle kunna vara en lång och smal spole som löper under fordonet. En likström, alternativt en växelström genererar ett magnetfält strax ovanför vägbanan och genom bilens rörelse induceras en energipuls vid varje sådan passage. Metoden borde vara relativt lätt att demonstrera och skulle troligtvis kunna erbjuda bilisterna ett enklare förfarande än att ladda vid laddningsställe/bensinmack.

7.3.1 Laddning av plug-in hybrider via magnetisk och elektromagnetisk energiöverföring

Att ladda elfordon och plug-in hybrider via konventionella stickkontakter kan innebära vissa nackdelar³⁹. Ett alternativ kan vara beröringsfri (kontaktlös) laddning. Ett flertal laddningsdon har konstruerats och testats. Genom den snabba utveckling som förkommit inom framförallt kraftelektronikområdet är det idag möjligt att konstruera mycket kompakta, energieffektiva laddningsdon, vilka baseras på induktiv överföring av energi. Det kan dock nämnas att fordonsindustrin inte verkar särskilt attraherad av induktiv laddning, vilken uppfattas som både dyr och klumpig.

I en rapport publicerad av Matsuda⁴⁰ beskrivs ett induktivt laddningssystem för elfordon. Principen bygger på en transformatorfunktion där primär- och sekundärlindningarna

³⁹ Exempelvis kortslutning, gnistbildning, personkontakt, etc.

⁴⁰ Inductive charging of electrical vehicles: Matsuda, Sakamoto, Shibuya and Murata: American Institute of Physics, 18 April 2006.

separerats. I de experiment som författarna genomfört har primärkretsen bestående av en Mangan-Zink-Ferritkärna med måtten $1 \times 1 \times 0.01$ m förlagts i markplanet. Sekundärlindningen i fordonet, saknar järnkärna, utan använder istället bottenplåten som magnetisk ledare. Laddningen av fordonets batteri kan ske vid en effekt om ca 2 kW vid ett avstånd mellan lindningarna på 10 cm. Verkningsgraden på laddningssystemet uppgår enligt testerna till 90 procent vid en arbetsfrekvens på 100 kHz.

Honda presenterade för över 15 år sedan en vision kring laddning av elfordon under drift. En idé som framfördes var att förse vissa vägbanor, s.k. "E-lanes", med nedgrävda kablar för överföring av inducerad energi till fordonet. Genom att mata kablarna med en lämplig ström (högfrekvent) skulle en spole i bilen ta upp det inducerade fältet och tillräckligt mycket energi kunna tillföras bilens batteri under färd.

En teoretisk analys av möjligheten för induktiv överföring visar att det kanske kan vara möjligt med denna form av laddning. Vissa enklare experiment borde kunna ge en god uppfattning kring metodens energieffektivitet, lämplighet m.m.

TEPCO informerade nyligen att ett utvecklingsprojekt i Japan där bl.a. mikrovågssystem kommer att undersökas vad beträffar kontaktlös laddning. Projektet som kommer att utföras vid Kyoto University har ett flertal parter som intressenter, däribland några av de japanska kraftbolagen.

7.3.2 Solceller applicerade på fordonen

Andra alternativ rör applicering av solceller applicerade direkt på karossen för att ladda batterier med hjälp av solenergi. Detta skulle vara tillämpligt för både stillastående, som för fordon i rörelse. Uppskattningsvis skulle en belagd yta på bilen om 2 m^2 kunna erbjuda en dagsladdning om 1 kWh, dvs. svara mot ca 5 km färd alltså ge ett 10 procent dygnsbidrag.

7.4 Infrastruktur för snabbladdning

Elföretagen har tidigare studerat behovet av laddningsinfrastruktur för elfordon. Ett antal försök har genomförts i Malmö, Göteborg och Stockholm avseende laddningsstationer och laddningssystem.

TEPCO i Japan har utvecklat snabbladdningsstationer för introduktion av elbilar i sin personbilsflotta. Laddningsstationen uppges kunna ladda ett elfordon inom ca 10 - 15 min (ca 10 kW effekt) och kosta ca 200 000 SEK. För laddningen används ett speciellt laddningsdon.



Laddningsdon för snabbladdning

7.5 Batterier som mobil reservkraft och snabb störningsreserv

Debatten i USA har under senare år kommit att beröra de positiva effekter som kan skönjas när ett stort antal plug-in hybrider integreras i elsystemet. Båda systemen, fordon respektive elnät, är i princip komplementära. Elnätet uppvisar höga kapitalkostnader och låga driftskostnader. För personbilar gäller det omvända.

Att utnyttja plug-in hybriderna som effekt- och energireserver (V2G) i elsystemet bedöms av vissa kunna vara intressant. Elhybridernas batterier skulle kunna vara en snabb effektreserv vid störningar på elnäten. Vi långvariga bortfall kan elhybridernas motorer i princip användas som distribuerade elgeneratorer, drivna av fordonsbränsle.

7.5.1 Mobil reservkraft – "vehicle-to-home"?

Nyligen rapporterades från ett längre strömavbrott i USA⁴¹. Ägaren till en Toyota Prius använde då bilen som reservkraftverk under drygt tre dagar (V2H). Fordonet kopplades till husets UPS anläggning och Priusen försörjde huset med elström under 3 dygn. Uppskattningsvis ca 3 kW medeffekt levererades från fordonet under dessa dagar.

Om en viss andel av plug-in hybriderna skulle kunna ställa sitt batteri (eller generator!) till energibolagens förfogande, exempelvis som en energireserv, skulle dessa fordon även teoretiskt kunna utnyttjas för t.ex. energiförsörjning vid nettbortfall, som nätstabilisering, vid bortfall av större produktionsanläggningar, vid felomkopplingar i transmissionsnäten, vid katastroflägen etc. då en energireserv är av synnerligen stort värde. En enkel överslagsberäkning ger vid handen att om 100 000 Plug-in hybrider upplåter sina fordonsbatterier (8 kWh) motsvarar detta ett maximalt energitillskott om 800 MWh.

7.5.2 En snabb störningsreserv?

Teoretiskt skulle batterierna i plug-in hybriderna kunna utnyttjas för att möta kortare spänningsavbrott i elnäten. Denna snabba störningsreserv kan då få en funktion vid exempelvis omkopplingar i nät, vid åskstörningar etc., då risken att vissa nät går ner är stor. Huruvida detta dock är praktiskt möjligt att åstadkomma är dock ganska ovisst!

7.5.3 Styrning av laddning

De flesta hushållen i Sverige har ett enhetligt elpris, oberoende av tillgång och efterfrågan eller tid på dygnet. I många andra länder finns en differentierad elprissättning där priset på el varierar med tillgång/produktionsförmåga etc. Det kan nämnas att i Japan är dagspriset på el ca 22 Yen medan nattpriset är 4 ggr lägre, drygt 6 Yen.

Differentierade eltaxor kan på sikt få genomslag även i Sverige. Givet att plug-in fordonen troligtvis kommer att vara parkerade (och anslutna till elnätet) över 90 procent av tiden finns en stor potential att elföretagen, liksom bilägarna vill styra laddningen till perioder med lägre elpriser och lägre belastning. Av det skälet kommer på sikt sannolikt "smarta" laddningssystem att komma fram, vilka reagerar på tariffinformation och laddar under perioder när det är som billigast.

⁴¹ Washington Post 8 September 2007

7.6 Elkvalitet

Dagens batteriladdningssystem är i regel utformade som kraftelektroniska switchade aggregat. Detta medför påverkan på ström och spänning i form av ökade övertonshalter. Enfasiga likströmsomriktare producerar i allmänhet övertoner av 3, 5, 7, 11 och 13 ordningen.

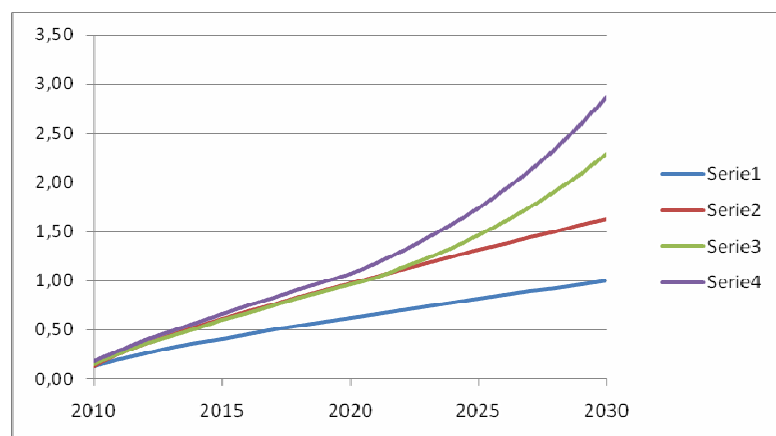
Genom att använda högre switchfrekvenser och lämpliga övertonsfiler kan dock moderna laddningsaggregat som baseras på pulsbreddsmodulering ge betydligt lägre övertonshalter.

IEC normen, IEC61000-3-2, som gäller apparater med strömbegränsare och strömmar mindre än 16A kräver att totala harmoniska distorsionen understiger 15 procent och att den tredje övertonen ej får vara högre än 10 procent. Det svenska kraftnätet har idag en impedans kring 0.6 Ohm, så det är knappast troligt att övertoner kommer att utgöra något stort problem.

7.7 Uppskattning av maximalt effektbehov (Scenario 1-4)

Hur mycket effekt kommer plug-in hybriderna att behöva? Frågan är inte helt lätt att besvara, eftersom vi inte riktigt vet hur dessa bilar kommer att användas, köras, parkeras och laddas. En teoretisk övre gräns är att alla laddar samtidigt med maximal laddningseffekt. I detta fall skulle ett tak ligga vid antalet plug-in hybrider gånger laddningseffekt, som i fallet 4 miljoner fordon och laddning vid 2 kW blir 8000 MW. Det är dock högst osannolikt att detta skulle inträffa. Effektbehovet, med antagande om ej samtidig laddning av samtliga fordon, beräknad med Welanders formel⁴², som ofta används, framgår ur figur 7.2 nedan. Här ses att för de långsamt växande scenarierna uppgår det maximala effektbehovet till 1000 MW medan de snabbväxande ger ett maximalt effektbehov om högst ca 3000 MW.

Maximal last som hittills uppmätts i det Svenska kraftnätet har hittills varit under 30,000 MW. Denna last uppstår dock endast under några få kalla vinterdagar per år. I den händelse vi skulle koppla in en tillkommande last om 3000 MW skulle detta alltså kunna få konsekvenser. Problemet torde dock kunna vara ganska lätt att lösa med en enkel timerfunktion, som fördröjer laddningen vid dessa "kritiska tillfällen", med någon eller några timmar.



Figur 7.2. Maximala effektbehovet (GW) i de fyra scenarierna

⁴² Welanders formel: Effekt (MW) = $k_1 \cdot W + k_2 \cdot \sqrt{W}$, där $k_1=0,2$, $k_2=0,32$, W = Energi (TWh)

8 Alternativa metoder att beräkna miljökonsekvenserna från elproduktionen⁴³

Den besvärliga frågan när miljökonsekvenserna från plug-in hybriderna skall beskrivas är att bedöma miljöpåverkan av den el som tas från elnätet. I dag finns ingen etablerad och allmänt accepterad metod för att beräkna miljöbelastningen av el och därför kommer här att redovisas resultatet från några alternativa beräkningsmetoder. Fokus kommer att ligga på utsläppen av koldioxid även om plug-in hybrider kommer att kunna minska utsläpp av också andra växthusgaser som NO_x, VOC, partiklar m.m.

8.1 Allmänt

Följande fem metoder har använts i miljökonsekvensanalysen:

Ögonblicksbild (kortsiktiga marginaleffekter)

Här utgår man från hur elsystemet ser ut vid en viss tidpunkt och vad som skulle hända om elanvändningen ökar givet det existerande produktions- och överföringssystemen.

Tillbakablickande perspektiv (genomsnitt)

Även här tas utgångspunkt i det existerande elsystemet men i stället för att studera marginaleffekter beräknas den genomsnittliga miljöbelastning från elsystemet. Här blir det viktigt vilken systemavgränsning som görs. Exempelvis kan systemgränsen vara Sverige, Norden eller hela Europa.

Framåtblickande perspektiv (långsiktig marginaleffekt)

I detta fall betraktar man elsystemet som dynamiskt. Här tar man hänsyn till att en ökad efterfrågan på el från transportsektorn också kommer att påverka investeringar i elproduktion och nät.

EU-ETS perspektiv

I Europa är det fastställt det tak för CO₂ utsläppen från den handlande sektorn i vilken hela elsystemet ingår. Det betyder i princip att ökade CO₂ utsläpp från kraftindustrin till följd av ökad efterfrågan, kompenseras med lägre utsläpp i någon annan del av den handlande sektorn. Resultatet är att utsläppen av CO₂ inte alls påverkas av hur efterfrågan på el utvecklas utan bara av den totala nivån för utsläppen, vilket fastställs på EU-nivå

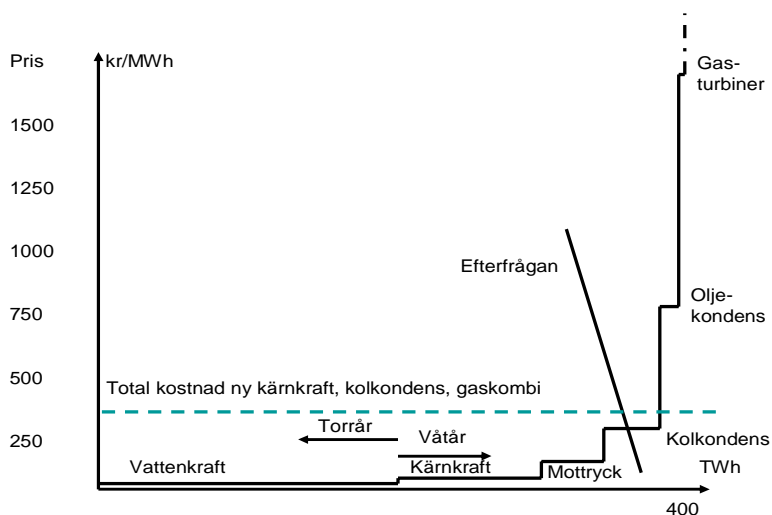
Konsumentstyrt perspektiv

En tydlig ambition inom EU är att kunderna ska kunna göra aktiva val avseende hur den el man konsumerar är producerad. Detta återfinns bl.a. i direktiv om ursprungsmärkning av el. Tanken är att detta ska leda till att marknadsvärdet på miljövänlig el ska öka och ytterligare driva investeringar i en för miljön positiv riktning. Med detta synsätt blir det möjligt att med aktiva val påverka miljöbelastning från el som konsumeras.

⁴³ Detta kapitel är författat av Peter Fritz, EME Analys AB

8.2 Ögonblicksbild

Ett populärt begrepp när elen miljöbelastning diskuteras är "marginalel". Med marginalel avses ofta el producerade i fossileldade kondenskraftverk i Danmark, Finland eller i Tyskland. Logiken bakom detta betraktelsesätt är att vi i Sverige är del av en större marknad. Trots att el i Sverige främst produceras med vattenkraft och kärnkraft är det produktionen i de fossilbaserade kraftverken som har de högsta rörliga produktionskostnaderna och därför påverkas först när elanvändningen ändras. Följande bild över det Nordiska elsystemet illustrerar detta



Figur 8.1 Kortsiktig el utbudskurva i Norden, källa EME Analys

Exakt hur en förändrar efterfrågan påverkar utbudet varierar naturligtvis över året och mellan olika år där den viktigaste faktorn är vattensituationen i Norden. Ett sätt att simulera detta är att använda sig av modellverktyg. I detta projekt har vi använt kraftbalansmodellen PoMo som är särskilt lämplig för denna typ av analyser eftersom modellen förutom elpriser även beräknar CO₂ utsläppen från elproduktionen. Det som i korthet görs är att göra två modellanalyser, den ena med en elanvändning i Norden på ca 400 TWh och den andra med en elanvändning som är ca 1 procent högre.

De resultat vi får varierar ganska kraftigt beroende på vilken uppsättning indata vi väljer att räkna på. Ställer vi in modellen för att simulera situationen 2005 får vi exempelvis relativt låga marginella utsläpp. Det beror på att det under det året ofta var olje- eller naturgaskondens som låg på marginalen. Det är också ganska ofta s.k. bortkopplingsbara elpannor på marginalen i Norden (marginalutsläppen blir då lika med utsläppen från värmeproduktion med olja). Andra år är det oftare kolkondens på marginalen. Beräkningar som genomförts pekar således på att de marginella utsläppen varierar ganska kraftigt mellan olika år.

Tabell 8.1 CO₂ utsläppen från den dyraste produktionen i drift i det Nordiska elsystemet "Marginalel"

	kg CO₂/ MWh
Exempel på år med låga marginalutsläpp	400
Exempel på år med höga marginalutsläpp	750

Som jämförelse kan nämnas att CO₂ utsläppen från kolkondens varierar mellan 750 och 1000 kg CO₂ /MWh beroende på kraftverkets bränsleeffektivitet.

8.3 Tillbakablickande perspektiv (Genomsnittliga utsläpp)

Att använda de genomsnittliga utsläppen från elsystemet är tilltalande eftersom det är en ganska enkel metod. Metoden kräver inte några modellverktyg eller mer eller mindre sannolika bedömningar om den framtida utvecklingen. Som nämndes i inledningen blir dock resultaten helt beroende av vilken systemavgränsning som görs. Ett annat problem är att vi inte kan påverka historien, som beslutsunderlag är dessa resultat således av tveksamt värde.

Vi har valt att beräkna CO₂ utsläppen efter tre olika systemavgränsningar, Sverige, Norden och EU25.

Beräkningarna av CO₂ utsläppen 2005 från elproduktion i Sverige och Norden baseras på statistik från Nordel. Nordel statistiken har dock behövt bearbetats och beräkningarna har kompletterats med egna antaganden. För EU25 har vi utgått ifrån EU Kommissionens "European Energy and Transport – Trends to 2030", 2003.

Tabell 8.2 Genomsnittliga CO₂ utsläpp från elproduktion, 2005

	Sverige	Norden	EU (25)
kg CO ₂ /MWh	10	58	415

Tabell 8.3 Beräkningsförutsättningar tabell 8.2

Typ av kraftverk	kg CO ₂ /MWh el	Sverige (155 TWh el)	Norden (404TWh el)
		TWh	TWh
Kondenskraft			
Kol/torv	825	0,2	8,6
Olja	753	0,3	0,4
Naturgas	456	0,1	0,9
Kraftvärme			
Kol/torv	388	1,2	20,1
Olja	336	0,7	2,4
Naturgas	228	0,7	17,9
	kg CO₂/MWh bränsle	EU 25 (2750 TWh el)TWh	
Kol	330	2112	
Olja	286	359	
Naturgas	205	1772	

8.4 Framåtblickande perspektiv

Utgångspunkten här är att elsystemet förändras över tiden och att efterfrågeutvecklingen är en viktig parameter som påverkar investeringar i ny produktion. Det är ett rimligt att anta att en ökad efterfrågan på el faktiskt påverkar investeringar i ny elproduktion. Frågan är bara hur?

De nyinvesteringar som i dag sker i Norden är i kärnkraft, vindkraft, biobränsle- och naturgasbaserad kraftvärme. Det finns också långt gående planer på naturgaskombi i Norge. Naturgaskombin kommer eventuellt förses med CO₂ avskiljning. Sammantaget leder denna nyproduktion till relativt små CO₂ utsläpp i förhållande till den el som förväntas produceras.

I tabellen nedan har vi antagit att CO₂ utsläppen från nytillkommande produktion utvecklas enligt nedan.

Tabell 8.4 Förändring av det Nordiska elsystemet fram till 2020

Typ av produktion	TWh el	kg CO₂ /MWh
Produktionsutbyggnad		
-Kärnkraft	+ 21,4 TWh	0
- Vindkraft + biokraftvärme	+ 31,3 TWh	0
- Naturgaskraftvärme	+ 5,0 TWh	216
- Naturgaskombi	+ 10,8 TWh	373
Genomsnittliga utsläpp	+68.5 TWh	75 kg CO₂/MWh

En aspekt som inte har beaktats här är att alternativet till att använda den el som produceras i Norden till kunder i Norden är att exportera den till kontinentala Europa, där förutsättningarna för miljövänlig elproduktion kanske är sämre. En sådan utveckling förutsätter dock stora investeringar i stamnät och överföringsförbindelser.

En annan aspekt som inte beaktats är att batterierna i plug-in hybrider delvis skulle kunna hjälpa till att reglera elsystemet. Hittills har vi klart det ganska bra i Norden tack vare den stora mängden lättreglerade vattenkraft. I takt med att vindkraften byggs ut kommer reglerbehoven att öka. Annorlunda uttryckt, ju mer reglerförmåga man har i elsystemet desto mer vindkraft kan systemet klara. Alternativet kan vara dyra investeringar i reservkraft (ofta fossileldat). Hur laddningen av batterierna i praktiken ska kunna optimeras utifrån elsystemets förutsättningar har inte närmare studerats.

Ytterligare en aspekt är att plug-in hybrider öppnar intressanta möjligheter för hushåll att själva producera el. Att ladda batterier med el från små vindsnurror eller från solpaneler är redan i dag en beprövad teknik som bl.a. används på många fritidsbåtar.

8.5 EUs handelssystem med utsläppsrätter

Ett viktigt instrument för att reducera koldioxidutsläppen inom EU är systemet med utsläppsrätter "EU Emission Trading Scheme" (EU ETS)⁴⁴. Mycket kortfattat bygger systemet på följande grundprinciper:

- EU´ medlemsstater har bestämt att utsläppen av CO₂ ska reduceras och ett viktigt styrmedel riktat mot industri och energisektorn är EU ETS.

⁴⁴ Transporters CO₂ utsläpp och internationell handel med utsläppsrätter; Per Kågesson, European Federation for Transport & Environment, 05/1

- Ett tak för de totala utsläppen av CO₂ från alla större anläggningar inom industri och energisektorn fastställs.
- Denna totala mängd utsläppsrätter fördelas på anläggningarna (ofta gratis, men auktionering förekommer också)
- I takt med att utsläpp görs måste utsläppsrätter redovisas och dessa annulleras.
- Det går att handla med utsläppsrätterna, d.v.s. företag som har överskott kan sälja till företag som har underskott.

Utsläppen från den s.k. handlande sektorn kan således inte bli högre än den totala tilldelade kvoten. En ökad efterfrågan på el från exempelvis transportsektorn kommer således att innebära att företagen inom den handlande sektorn för incitament att anstränga sig ytterligare för att reducera utsläppen då priserna på utsläppsrätter sannolikt ökar. Högre priser på utsläppsrätter får också genomslag på hela ekonomin genom att priset på utsläpp också påverkar priset på el vilket kommer att leda till minskad efterfrågan på el men också innebära att investeringar i förnybar produktion blir lönsammare.

En ökad efterfrågan på el till plug-in hybrider kommer således sannolikt att påverka både priset på EU ETS och elpriset. Detta i sin tur resulterar i åtgärder i hela ekonomin. Slutresultatet blir att oberoende av hur den extra elen till plug-in hybrider produceras kommer de totala utsläppen av koldioxid inom EU inte att öka.

8.6 Konsumentstyrt perspektiv

Ursprungsmärkning av el är i dag ett krav enligt EU:s elmarknadsdirektiv. Innebörden är att elleverantörerna ska för sina kunder ange från vilka energikällor den levererade elen är producerad och det ska finnas information om bl.a. CO₂ utsläpp. EU:s generaldirektorat för transport och energi (EU/DG TREN) har angivit följande syften med kravet på ursprungsmärkningen:

- att öka transparensen på elmarknaden genom öppen och enkelt tillgänglig information
- att uppfylla konsumenternas rätt till information om köpta produkter
- att möjliggöra för konsumenterna att göra aktiva val kring leverantör utifrån produktionsegenskaper
- att utbilda konsumenter och att stimulera efterfrågan på el som bidrar till ett säkert och hållbart elsystem.

För Sveriges del finns EU- direktivet infört i svenska lag, men några närmare bestämmelser hur företagen ska ange ursprunget och beräkna miljöeffekterna finns inte. Ett exempel på svårigheterna är att bestämma hur el som köps från den Nordiska börsen Nordpool ska redovisas. Exakt hur detta kommer att lösas i framtiden vet vi inte, men mycket talar för att det måste bli någon form av internationellt harmoniserat certifikatssystem, typ Bra Miljöval.

Ett av syftena med ursprungsmärkning av el är att kunderna ska kunna göra aktiva val vad avser hur den el som konsumeras har producerats. I framtiden blir det således upp till de enskilda konsumenterna att besluta om miljöprestanda för sin el.

Man kan också tänka sig att producenter av plug-in hybrider aktivt säkerställer miljöprestanda på de bilar man säljer blir så bra som möjligt genom att förse bilarna med CO₂ fri el. I Danmark har man exempelvis föreslagit att varje personbil (plug-in) betalar

6000 DKR för en andel i ett vindkraftverk för en uthållig elförsörjning av fordonet. Andra har studerat just kombinationen Vindkraft - Plug-in hybrider mer ingående⁴⁵.

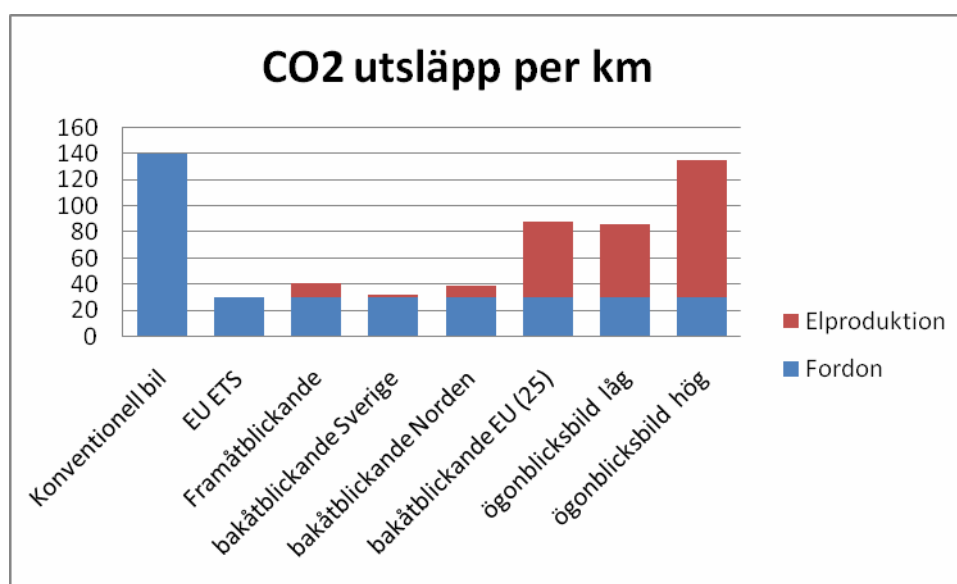
8.7 Jämförelser av olika värderingsmetoder

Sammantaget kan nämnas att miljövärderingen av olika elproduktionsmetoder när det gäller utsläpp av klimatgaser är ett komplext problemområde där förutsättningarna och systemavgränsningarna är svåra att göra.

Av detta skäl förslås i denna rapport (Kapitel 10) en mer genomgripande miljövärdering av plug-in hybrider och deras påverkan på klimatet.

I figur 7.2 har vi sammanfattat resultaten från dessa beräkningar. Vi har här antagit att en laddningshybrid förbrukar 2 kWh/mil i ren eldrift och när bränslemotorn används är CO₂ utsläppen 100 g/km. Antagandet är att förbränningsmotorn används 30 procent av tiden. Vidare har vi valt att jämföra laddningshybridfordonen med konventionella bilar med utsläpp motsvarande 140 g/km (drivmedelsförbrukning kring 0,58 l/mil).

I det framåtblickande perspektivet kommer således utsläppen från plug-in hybrider (förutsatt att de drivs med fossilt bränsle) att ge ett utsläpp på drygt 40 g/km, varav elproduktionen svarar för 10 g/km.



Figur 8.2 Sammanställning av CO₂ utsläpp i g/km baserat på olika miljövärderingsmodeller

8.8 Slutsatser

Vi har redovisat fem olika metoder att bestämma CO₂ belastningen från elsystemet. Den högsta miljöbelastningen får vi om endast de kortsiktiga effekterna beaktas "ögonblicksbild". Det beror på att kondenskraftverk eldade med fossila bränslen är de produktionsslag som har de högsta rörliga kostnaderna och dessutom de största CO₂ utsläppen. Utsläppen varierar dock över året och mellan olika år. Viktiga faktorer är hur

⁴⁵ Wind-to-Wheel Energy Assessment; P. Mazza, R.Hammerschlag, Institute for Environmental Assessment, Seattle, WA, USA

mycket det regnar och snöar i nordén, efterfrågan (som också delvis styrs av vädret), kärnkraftproduktionen, samt relativpriset mellan kol och naturgas.

I våra körningar varierar de marginella utsläppen med mellan 400–750 kg CO₂/MWh som årsgenomsnitt. (Variationerna är naturligtvis ännu större på dygns eller veckobasis).

En stark invändning mot denna metod, att beräkna miljöprestanda utifrån det dyraste kraftslag i bruk, är att det nästan blir omöjligt att påverka elsystemets miljöprestanda. Ett rimligt optimerat elproduktionssystem kommer alltid att ha fossilkraft på marginalen delar av året eftersom investeringskostnaderna för dessa kraftverk är förhållandevis låga. Det blir helt enkelt för dyrt att driva att investera i miljövänlig produktion som kommer att stå stilla stora delar av tiden.

Det andra alternativet att beräkna miljöprestanda som redovisas är det "tillbakablickande". Beroende på vilken systemavgränsning som väljs, Sverige, Norden eller EU, får vi olika resultat. Även här varierar också resultaten mellan olika år, särskilt för det nordiska alternativet. Denna metod är rimligt enkel att tillämpa även om det även här finns frågetecken, hur ska exempelvis kraftvärmen behandlas. Det finns dessutom redan i dag många kunder som köper el med särskild miljöprestanda, exempelvis "Bra Miljöval", vindkraft och vattenkraft. Frågan är hur det ska antas påverka mixen för övriga kunder - ska den dras bort?

En nackdel med denna metod är att den inte egentligen säger något om hur en förändring av elanvändningen påverkar utsläppen, vilket ju är syftet i detta fall. Det är ju inte så att de faktiska utsläppen till följd av en efterfrågeökning påverkas på samma sätt som de genomsnittliga utsläppen.

Det gör att vi osökt kommer in på den tredje metoden, det "framåtblickande perspektivet". Här betraktar vi elsystemet som något dynamiskt. En ökad efterfrågan på el antas få konsekvenser för vilka investeringar som kommer att genomföras i både ny elproduktion och i överföring. Den uppenbara nackdelen med denna metod är att vi inte vet hur en ökad efterfrågan kommer att påverka, vi kan bara göra mer eller mindre välgrundade antaganden.

Det vi ser i dag är att de nya investeringar som görs i elproduktion har förhållandevis goda miljöprestanda åtminstone om man bara beaktar CO₂ utsläppen. De investeringar som görs i Norden är främst kärnkraft, vindkraft och bio- och gaseldad kraftvärme. Om vi antar att en ökad efterfrågan från plug-in hybrider ger oss mer av detta blir utsläppen relativt små, ca 75 kg CO₂/MWh.

Det fjärde perspektivet vi redovisar tar utgångspunkt från att EU har valt att införa ett tak på hur stora CO₂ utsläppen tillåts bli från de anläggningar som ingår i den s.k. handlande sektorn, som exempelvis större industri och energianläggningar. Med detta synsätt betyder inte en ökad efterfrågan på el från bilparken några extra utsläpp alls.

9 Hybridfordonsutveckling i Sverige

9.1 Forskning och utveckling kring hybridtekniken

De svenska bilföretagen som Volvo, Saab/GM, Scania och Hägglunds har offensiva satsningar på hybridteknik. En gemensam sådan sker genom Svensk Hybrid Centrum (SHC) på Chalmers. Centrat finansieras förutom från fordonsindustrin också från Energimyndigheten och Vinnova.

Svenskt Hybrid Centrum satsar för att bygga upp kompetens kring hybridfordon och har en utvecklingsstrategi baserad på tre nyckelområden:

- Hybridfordon
- Energiförsörjning
- Elsystem/Styrning/Reglering

Ett flertal olika initiativ⁴⁶ pågår samtidigt, för att påskynda utvecklingen inom plug-in tekniken.

9.2 Svenska styrkor

- Sverige har en unik position att utveckla elhybridfordon⁴⁷. Sverige har 170,000 sysselsatta i fordonsindustrin respektive 100,000 sysselsatta i elkraftsindustrin vilket motsvarar över 20 procent av Sveriges industriellt sysselsatta. Båda branscherna innehar globala forsknings- och utvecklingsenheter förlagda till Sverige.
- En, ännu så länge, relativt stor andel inhemsk produktion av såväl komponenter som hela system/fordon.
- God kunskap om produktion och produktionsutveckling.
- Sverige har gjort det tidigare – samverkat med nationella förtecken (Exempel Vattenfall Asea, SJ/Asea, etc.) – även mellan dessa branscher, t.ex. ECC (Volvo, Vattenfall, ABB).
- Sverige innehar, än så länge, alla nyckelkomponenter för att utveckla såväl hybrider som elhybrider – design av produkter och produktionssystem, materialutveckling samt kunskap om marknad/användare.
- Det svenska elsystemet är i absolut världsklass och har en produktionsmix (med mycket låga CO₂-utsläpp) som starkt underlättar en övergång till plug-in hybrider.

9.3 Forskningsamverkan

Under perioden 1993 till 2000 satsades i Sverige minst 320 MSEK på olika utvecklingsprojekt rörande energisystem inom transportsektorn, studier av elbilar m.m. Forskningsfinansiärerna har huvudsakligen varit STEM, VINNOVA, KFB, EU⁴⁸ m.fl.

Sverige har under åren satsat mycket FOU på nya "gröna fordonstekniker", t.ex. Gröna bilen etc.⁴⁹ som är ett större samverkansprojekt för miljövänliga fordonstekniker⁵⁰.

⁴⁶ Exempelvis: Test Site Sweden, Power Circle, Vindkraftindustrin m.fl.

⁴⁷ Hybrid electrical vehicles An alternative for the Swedish market?; K E Egebäck, S Bucksch; KFB Rapport 2000: 53

⁴⁸ ELCIDIS- Electric Vehicle City Distribution, Final Report, EU DG Tren, Energy and Transport, TR0048/97

⁴⁹ Programbeskrivning - Energisystem i vägfordon - period 2 (2004-2006), STEM

Volvo PV, Göteborg, har tilldelats Fordkoncernens globala utvecklingsansvar av hybridteknik vilket har initierat Svensk Hybrid Centrum med Chalmers som nav.

I Sverige finns ett stort antal kompetenscentra, vilka inriktats mot nyckelteknologier väl anpassade för en hybrid teknologiutveckling.:

Tabell 9.1: Forskningscentra med anknytning till hybridfordonsutveckling

Forskningsområde	KTH	CTH	LTH	LiU	UU	Luleå	Halmstad
Förbränningsmotorer		•	•	•			
Bränsleceller	•	•				•	
Elektriska Maskiner	•	•	•				
Energilager	•		•		•		
Kraftelektronik	•		•				
Styr & Regler		•	•	•			•
Hybridfordon	•	•	•				

Ovanstående tabell visar att det svenska forskningscentra och fordonsbranschen formerar sig kring framtidens fordon både avseende hybridteknik (i huvudsak nya bränslen) och elhybrider (elektrisk drivlina). *Det som saknas är initiativ som konkret förenar fordonsindustrins intressen med elkraftindustrins intressen, vilka bl.a. är:*

- Utveckling av elmotorer, superkondensatorer och batterier (energilagring)
- Transmission och distribution av el – lämplig laddningsinfrastruktur för fordon
- Några gemensamma områden som är av stor betydelse är:
- Materialutveckling
- Styr- och reglerteknik

Invest in Sweden Agency och Vattenfall AB har exempelvis studerat förutsättningarna för en samlad satsning i Sverige för att utveckla plug-in tekniken⁵¹.

9.4. Samlade satsningar kan göra Sverige till förebild

Inom utvecklingen av framtidens fordon ligger Sveriges aktörer uppskattningsvis ett tiotal år efter Japansk bilindustri, men lika eller före andra aktörer. En riktad kraftsamling bör kunna hämta in Japans försprång. Industrin och staten satsar under perioden 2000 till 2007 över 804 miljoner kronor (varav staten 282 miljoner) på utvecklingen av "Den gröna Bilen 2", vilken är en fortsättning på en tidigare satsning om ca 1,700 miljoner (varav staten bidrog med 500 miljoner).

Alla de svenska bilföretagen och underleverantörer via Fordonskomponentgruppen är med i satsningen, som sker via Vinnova. Syftet med satsningen är att ta fram mer energieffektiva fordon, nya motorer anpassade mot förnyelsebara bränslen och utveckling av hybridteknik. Volvo riktar under en femårsperiod närmare 10 miljarder kronor på att utveckla hybridteknik. En stor del av den satsningen sker förhoppningsvis i Sverige.

Plug-in teknologin utgör en signifikant möjlighet för Sverige att uppvisa ett globalt ansvarstagande för miljön, att konkret vidta åtgärder för energieffektivisering inom transportområdet, samt kunna trygga sysselsättning inom viktiga traditionella industrigrenar, forskning, innovation och teknikutveckling samt verka stimulerande för sysselsättningstillväxt inom helt nya områden.

⁵⁰ Grönt ljus för elhybrid och bränslecell; KFB Rapport 2000: 45

⁵¹ Automotive Hybrid Technology Roadmap, ISA, Sweden

9.5 Exempel på tänkbara utvecklingsprojekt för elföretagen

Nedan beskrivs förslag på några tänkbara utvecklingsprojekt för elföretagen. Dessa projektförslag kommer att diskuteras med företrädare för elbranschen, forskningsfinansiärer och olika utvecklingspartners.

- **Informationsmaterial kring plug-in hybrider och elfordon**

Detta projekt avser att fortlöpande följa utvecklingen beträffande plug-in hybrider och elfordon. Huvuduppgiften för projektet är att med god "timing" ta fram, analysera och bearbeta lämpligt underlag som kan bidra till att stärka utvecklingen och introduktionen av plug-in hybrider och elfordon

Målgruppen för detta projekt är elbolagen och branschorgan, såväl som beslutsfattare i stat och kommun samt näringslivet. Elforsks uppgift är att ta fram analysera, bearbeta och presentera det underlag som behövs.

- **En visionär studie kring hur utvecklingen av plug-in och andra elfordon kan tänkas se ut i ett regionalt perspektiv**

Detta projekt innebär att en vision målas upp för en region innefattande exempelvis resandeströmmar, laddningssystem för plug-in och elfordon, bränsleanvändning och elbehov miljöpåverkan etc. En lämplig sådan region är t.ex. Öresundsregionen, avgränsad till sydöstra Skåne samt västra Själland. Projektet skulle därefter kunna upprepas för Mälardalen och Göteborgsregionen, samt en studie kring glesbygdsalternativ.

Elforsk har här diskuterat samverkan med Energistyrelsen i Danmark och arbetet begränsas till att omfatta ca 6 månader. Resultatet från studien kan utgöras av ett lättillgängligt informationsmaterial i text och bild. Målgruppen kan vara beslutsfattare och en intresserad allmänhet.

- **Styrmedel och miljövärdering av plug-in hybrider och elfordon**

Detta projekt avser att studera hur utformning av styrmedel och metod för miljövärdering av el kommer att få betydelse för introduktionen av plug-in hybrider och elfordon.

I projektet ingår en bred genomgång och analys av de styrmedel som idag påverkar PHEV och EV, inklusive styrmedel för alternativa drivmedel, som kan stimulera introduktionen av plug-in hybrider och batteribilar.

I projektet kan även ingå förslag till rekommendationer om hur elanvändningen för PHEV och EV bör miljövärderas. Även frågan om tillämpningen av begreppet primärenergi och konsekvenserna av detta bör belysas i detta projekt.

- **Laddningsinfrastruktur för plug-in elhybrider/elfordon**

För att introduktionen av plug-in hybrider och andra rena elfordon skall kunna underlättas erfordras en väl utbyggd infrastruktur i form av laddningspunkter i samhället.

Projektet går ut på att i samverkan med fordonsindustri, parkeringsbolag, tillverkare av P-automater, samt elföretagen säkerställa att i god tid stå redo med infrastruktur för laddning av PHEV och EV. I projektet ingår vidare att se över behovet för s.k. snabbladdningsstationer m.m.

- **Framtida system för betalning, kommunikation och laddning av PHEVs samt EV**

Detta projekt avser att belysa alternativa sätt för laddning (konduktiv, induktiv, trådlös etc.) samt tillhörande metoder för betalning och eventuell kommunikation med fordonen. Detta projekt kan omfatta olika former av intelligenta laddnings- och betalsystem med kompletterande funktioner.

Projektet skulle kunna initiera speciella tekniska förstudier, examensarbeten vid tekniska högskolor och universitet, genomföra tekniska förstudier och pilotprojekt samt bevakning av den internationella utvecklingen av laddningsmöjligheter och stimulera till framtagande av attraktiva infrastrukturlösningar för PHEV och EV.

- **Internationellt samverkansprojekt inom ramen för EURELECTRIC för kunskapsspridning kring plug-in elhybrider**

Detta projekt innebär en samverkan med EURELECTRIC som huvudman, med syftet att stärka den europeiska användningen av PHEV och EV. Projektet diskuteras f.n. med Elforsk som tänkt deltagare

- **Medverkan i standardiseringsarbeten inom SEK, IEC rörande elfordon, elhybrider.**

Detta projekt avser en branschgemensam närvaro i standardiseringsarbetet kring elfordon, plug-in hybrider m.m. Elbilskommittén, som varit vilande sedan 1999 har nu återupptagit sitt arbete inom SEK/TK 69. Kommittén kommer bl.a. att arbeta med frågor kring utformning av laddningsstationer, hur laddningen ansluts och ev. kommunicerar med fordonets kontrollenheter. Samarbetet inom SEK administreras f.n. genom Elforsk.

- **Upphandling av plug-in hybrider**

Detta projekt avser att i första fasen sammanställa elföretagens och andra samverkande företags intresse av en framtida eventuell upphandling av plug-in hybrider.

10 Slutsatser

Följande sammanfattande slutsatser kan dras ur denna studie:

Plug-in hybrider

- Nyckelteknologierna för plug-in hybrider är under snabb utveckling och marknadsintroduktion av plug-in hybrider kommer troligtvis att ske från de större biltillverkarna under kommande år. En försiktig marknadsintroduktion kan kanske komma igång omkring 2010.
- Batterier i plug-in hybrider kommer att i främsta hand vara av Litium-jon typ. Behovet av batterikapacitet varierar mellan olika länder beroende på körsätt. I Norden krävs en batterikapacitet⁵² på 8-10 kWh för att tillgodose dygnsmedelvärdet på ca 40-50 km körsträcka
- Plug-in hybrider kommer att levereras med olika motorkoncept (bensin diesel, biodrivmedel)
- Plug-in hybrider kommer att omfatta främst personbilar. Inledningsvis troligen i mellanklasssegmentet

El för transport

- Då en personbil i Sverige sällan kör mer än 50 km per dygn i snitt kommer ren eldrift att kunna utgöra merparten av dagsresorna för de flesta plug-in hybriderna.
- Om vi teoretiskt antar att dagens alla personbilar i Sverige (4.3 miljoner fordon) byttes ut mot plug-in hybrider skulle elförbrukning öka med omkring 10 TWh, dvs. mindre än 8 procent av dagens elförbrukning
- Vid "måttlig" introduktion av plug-in hybrider (< 1 miljon fordon) erfordras i regel inga större förändringar i elinfrastrukturen.
- Samlade effektbehovet kommer sannolikt att understiga 3000 MW vid massiv övergång (4 miljoner fordon). Laddningen kan styras till perioder med låg nätbelastning

CO₂ utsläpp

- Vid en andel om 600.000 plug-in hybrider skulle utsläppen av koldioxid kunna minska med omkring 20 procent från personbilssektorn

Drivmedelsberoendet

- Plug-in hybrider och konventionella fordon kommer i ökande omfattning att kunna drivas med alternativa bränslen (Etanol, Biodiesel etc.)
- I det mest offensiva scenariot (Scenario 4) kommer drivmedelsberoendet i Sverige att minska med ca 70 procent jämfört med dagens behov.

⁵² Faktiskt batterikapacitet kommer dock att bestämmas av hur stor urladdningsnivå som kan tillåtas. Troligtvis kommer denna att ligga mellan 70-80procent

Sysselsättning

- Sverige har gynnsamma förutsättningar för att en samlad insats att utveckla och introducera plug-in hybridteknologi för fordonsbranschen.
- Sysselsättningen kan påverkas genom offensiva satsningar i samverkan mellan staten, privata industrin och miljöorganisationer.

11 APPENDIX

APPENDIX 1: Vägtrafiken och drivmedelsbehovet i Norden

Vägtrafiken i Norden har ökat mycket kraftigt under de senaste decennierna. Tillväxten inom personbilssegmentet har varierat mellan 10 och 20 procent och idag rullar närmare 11 miljoner personbilar på de nordiska vägarna i Sverige, Danmark, Finland och Norge.

Vägtrafiken i Sverige

Under 2005 blev 6,3 miljarder mil körda i Sverige av drygt 4,3 miljoner personbilar som varit i trafik under året⁵³. Den genomsnittliga körsträckan var 1,465 mil motsvarande 40 km per dag, där personbilarna med en tjänstevikt större och lika med 1,4 ton stod för de längsta genomsnittliga sträckorna.

De drygt 455 000 lastbilar som varit i trafik under 2005 i Sverige har sammanlagt kört drygt 1 miljarder mil, vilket betyder att de har haft en genomsnittlig körsträcka på 2 262 mil. Timmerbilar, har haft den längsta genomsnittliga körsträckan 13 539 mil, medan flak- och skåpbilar endast kört omkring 1800 mil i genomsnitt. Drygt 15 600 bussar, som varit i trafik, har sammanlagt kört 91 miljoner mil och haft en genomsnittlig körsträcka på 820 mil. Bussar för mellan 61 och 70 passagerare har haft det största genomsnittet med årliga fordonssträckor kring 7595 mil.

Vägtrafiken i Norge, Finland och Danmark

Under 2005 kördes 3,9 miljarder mil av drygt 2,5 miljoner personbilar i Norge⁵⁴. Den genomsnittliga körsträckan var 43 km per dag. Undersökningar i Norge visade bl.a. att 40 procent av hushållen hade tillgång till två bilar medan endast 13 procent av alla hushåll saknade tillgång till personbil. I en storstad som Oslo var dock förhållandena lite annorlunda. Här uppgav endast 66 procent av alla hushåll att man hade tillgång eller ägde en personbil.

I Finland körde under 2005 över 2,4 miljoner personbilar sammanlagt 4 miljarder mil svarande mot en daglig genomsnittskörsträcka på 45 km.

I Danmark stod 2 miljoner personbilar under 2006 för en sammanlagd körsträcka av 3,3 miljarder mil, dvs. den dagliga genomsnittskörsträckan är ca 45 km.

Vägtrafiken Sammanlagrat i Norden

Totalt finns i de fyra nordiska länderna (Sverige, Danmark, Finland och Norge) alltså närmare 11 miljoner personbilar. Den genomsnittliga körsträckan uppgår till drygt 16,3 miljarder mil, svarande mot en

⁵³ Faktaskrift om vägtransporter: STEM ER20:2003

⁵⁴ Bilhold og Bilbrug i Norge: Liva Vågane, TØI Report 856/2006

medelkörsträcka om 1426 mil per år alltså närmare 40 km per dag. Resemönstren varierar något beroende på land, mellan storstad/landsbygd, beroende på kön etc.

Drivmedel för personbilar

Drivmedelsbehovet för personbilar i Sverige uppgår till närmare 50 TWh⁵⁵, vilket svarar mot ca 5- 6 miljarder liter drivmedel. Av de drygt 50 TWh drivmedelsenergi är enbart ca 20 procent "nyttig transportenergi", resterande 80 procent, dvs. 40 TWh, är i princip värmeförluster från de konventionella otto- och dieselmotorerna.

Totalt konsumeras för närvarande upp mot 27 miljarder liter drivmedel i Norden, vilket svarar mot ett totalt drivmedelsbehov kring 256 TWh.

Drivmedelsförbrukning i Norden under 2005 (miljarder liter)

Drivmedel	Sverige	Danmark	Finland	Norge
Bensin	5.5	2.5	2.5	2.1
Diesel	4.3	3.5	2.4	3.8
Biodrivmedel	0.2	0.1	0.1	0.1
Totalt	10.0	6.0	4.9	5.9

Andelen biodrivmedel var ca 2,3 procent i Sverige. Av denna utgjordes merparten av låginblandad etanol (1,8 procent) och biogas (0,2 procent), övriga 0,3 procent utgjordes av FAME och ren etanol.

I denna studie har ansatsen gjorts att drivmedelsförbrukningen för personbilar uppgår till 6 miljarder liter. Resterande 4 miljarder liter skulle därmed vara den sammantagna förbrukningen för tyngre fordon, vägmaskiner, traktorer, bussar, motorcyklar, småbåtar etc.

CO₂ utsläpp från personbilstrafiken

Utsläppen av koldioxid i Sverige från drygt 10 miljarder liter drivmedel uppgår till ca 24 Mton/år och utgör närmare en tredjedel av alla koldioxidutsläpp. Sammantaget i Norden är den totala utsläppsmängden ca 65 Mton/år.

CO₂ utsläpp i Mton/år från personbilstrafiken i Norden

Drivmedel	Sverige	Danmark	Finland	Norge	Totalt
Bensin	13.0	5.9	5.9	5.0	29.8
Diesel	10.9	8.9	6.1	9.7	35.6
Totalt	23.9	14.8	12.0	14.7	65.4

Bränsleförbrukningen hos nya dieseldrivna personbilar är betydligt lägre än för nya bensindrivna personbilar. Enligt EU-normen var den genomsnittliga

⁵⁵ Energiinnehåll i Bensin 32.8 MJ/l Energiinnehåll i Diesel 35.5 MJ/L, Energiinnehåll i etanol 21.2 MJ/l

bränsleförbrukningen för personbilar av 1999 års modell ca 0,84 liter för bensinbilar, medan motsvarande dieseldrivna bilar endast drog ca 0,61 liter. Om vi antar att ca 10 procent av dieselförbrukningen under 2006 kommer från personbilar får vi en medelförbrukning av 0,9 till 0,95 l/mil för personbilar vilket svarar mot ca 10-13 procent ökning av bränsleförbrukningen hos "medel personbilen".

Med kommande EU krav på maximalt utsläpp om 120g/km CO₂, är det dock långt kvar till såpass effektiva motorer. Kraven svarar mot förbrukning om 0,51 respektive 0,47 liter/mil för bensin respektive dieslbilar. Alltså förbättringar av bränsleekonomin med upp mot 40 procent erfordras.

Ett troligt scenario är således att fordonstillverkarna kommer att både effektivisera motorer som att satsa på komplementär teknik som till exempel hybriderna medger.

Räckvidd och körsträckor

Medelkörsträckan per år för personbilar, 1462 km svarar mot 40 km körsträcka per dag. I Kågessons rapport⁵⁶ anges riktvärden för körsträckor baserade på underlag från RIKS -RES, som undersökt resandet under en dag, den 20 augusti 1999⁵⁷. Resor kortare än 40 km svarade då för 29,1 miljoner km och resor längre än 40 km svarade mot 14,4 miljoner km.

Om en plugin hybrid kan köra låt säga 40 km på en laddning, skulle teoretiskt 43.5 miljoner km av den aktuella dagens 57,5 miljoner km klaras av med plug-in hybrider i ren eldrift. Detta representerar hela 75 procent av hela körsträckan. Kågesson sammanfattar resonemanget med att bilister med körsträckor över 40 km per dag sannolikt skulle kunna ladda batterierna på dagtid inför hemfärd. Hans slutsats är att plugin hybrider (med 40 km eldriftsområde) skulle kunna köra minst 50 procent av hela sin årliga körsträcka på el.

Genom elhybridernas förmåga att klara så pass lång sträcka som 40 km i ren eldrift och med tanke på medelkörsträckor kring endast 40 km/dag erfordras dock en noggrannare analys av möjliga körmönster, eftersom sambanden är starkt olinjära. Likaså får man möjligen anta att om prisskillnaden mellan drivmedel och el fortfarande skulle vara så pass stor, kommer bilisterna att välja det fördelaktigaste alternativet rent privatekonomiskt.

I nedanstående graf har körsträcksprofilen uppskattats för privatbilismen i Sverige. Data är hämtade ur en studie som SIKA genomfört. Det framgår att 70procent av samtliga bilister den aktuella mät dagen färdades högst 50 km. Vägverket⁵⁸ rapporterar dock att genomsnittliga körsträckan för nya personbilar är 20 000 km per år, svarande mot 54 km/dygn.

⁵⁶ Plug-in som partiell lösning på personbilars energitillförsel; Per Kågesson, Nature Associates, 2006

⁵⁷ Körsträckor 2005, SIKA 2006:25

⁵⁸ Vägverket Rapport 2007-03-13

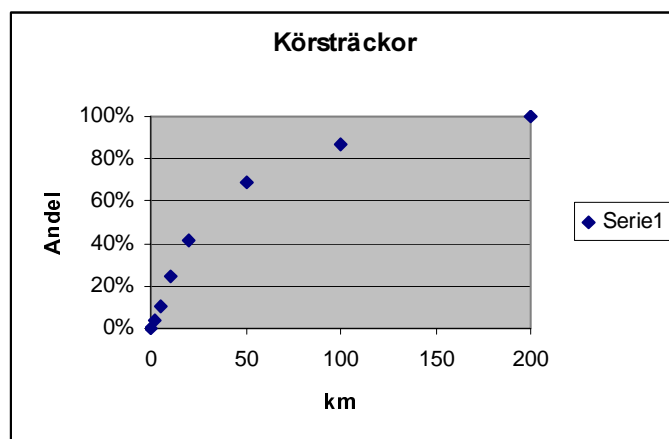


Diagram över körsträckor i Sverige (SIKA mars 2007)

Appendix 2: Oljekommissionens rapport

Vägtrafikens drivmedel består till 97 procent av bensin och diesel (närmare 9 miljarder liter), 2,7 procent är biodrivmedel bestående av 250 miljoner liter etanol (låginblandning), 32 miljoner liter E85 samt 19 miljoner Nm³ naturgas och 16 miljoner Nm³ biogas samt 11 miljoner liter RME. Förutom personbilstrafiken på 4,3 miljoner fordon fanns förra året 70000 lastbilar och 8000 lokalbussar⁵⁹. Under den senaste 10-årsperioden ökade persontrafiken med i genomsnitt 14 procent och godstransportererna med 26 procent. Koldioxidutsläppen ökade med ca 2 procent per år.

Oljekommissionen pekar i sitt scenario för 2020 på att alla nya bussar och minst 50 procent av nya lastbilar är bränsleeffektiva och kommer att vara baserade på hybridteknik. Totalt skulle dessa spara *600 miljoner liter drivmedel årligen*.

Oljekommissionens rapport⁶⁰ visar att kapaciteten för bioetanol kommer att vara kring 1,8 TWh per år från 2008. Från 2006 kommer fabriken i Karlshamn och Stenungssund att producera 0,3 TWh FAME. Dagens blygsamma produktion av biogas om 0,2 TWh beräknas öka markant och kring 2020 nå 3-5 TWh.

Den andra generationens biodrivmedel kommer att framställas med mer avancerad teknik och med större energieffektivitet än dagens. Här omfattas FTD och DME från cellulosa och svartlut etc.

Många tror att dagens tillverkning av bioetanol från exempelvis vete med nettoenergiutbyte på 40 GJ/ha kommer att ersättas med andra effektiva grödor som exempelvis betor och Salix, där nettoenergieffektiviteten ligger runt 80-100 GJ/ha (jfr 1 m³ olja svarar mot ca 35 GJ).

Målet för oljekommissionen är att minska oljeanvändningen inom vägtransportsektorn med 40-50 procent till 2020. Målet är ambitiöst och sju samverkande åtgärder förslås från kommissionen:

1. Stimulera till en mer energieffektiv personbilspark.

Det finns ett flertal möjligheter att åstadkomma detta och hybridtekniken beräknas kunna minska bränsleförbrukning med mellan 25-30 procent. Kommissionen nämner att ett genombrott i närtid för plug-in hybrider, som kan laddas från elnätet, skulle förbättra våra möjligheter att långsiktigt avveckla oljeberoendet i transportsektorn.

2. Effektivisera och minska andelen godstrafik på väg

⁵⁹ Detta verkar dock inte stå i samklang med andra uppgifter, som indikerar över 450000 transportfordon.

⁶⁰ På väg mot ett oljefritt Sverige: Kommissionen mot Oljeberoende, Juni 2006

3. Öka andelen drivmedel från jord- och skogsbruket.

Kommissionen föreslår att vi år 2020 producerar mellan 12-14 TWh biodrivmedel årligen från skogs- och jordbruk.

4. Gör kollektivtrafiken billigare och mer attraktiv. Kommissionen föreslår bl.a. att**5. Stärka tågets roll,****6. Stärka flygets roll och****7. Stimulera till mer distansarbete**

Oljekommissionen poängterar att den avgörande betydelsen som fortsatt kompetensutveckling har för energieffektivisering och oljeavveckling. Man pekar på vikten av systemforskning kring "Gröna Bilen 2", där fokus ligger på motorer, alternativa drivmedel, samt el- och hybridsystem, bör kompletteras med kraftfulla satsningar på tillämpad fordonsforskning samt framtagning av prototyper och demosystem för att vidareutveckla och förbättra teknik för användning av alternativa drivmedel.

Kommissionen framhåller även vikten att det bedrivs forskning och utveckling av biodrivmedel med fokus på effektiva tekniska och distributionssystem, samt ekonomi och infrastrukturer. Man förordar även att staten kraftfullt bör stödja demo- och fullskaleanläggningar för syntesgas produktion av Metanol, DME och FT-Diesel ur fast biomassa och svartlut, samt fortsatt stöd bör ges till utveckling av etanol ur skogsråvara.

Ett bränsle som omnämns är vätgas. De stora fordonstillverkarna (Toyota, Nissan, Daimler Chrysler, GM/Opel och Honda) bedömer att bränslecellsfordon, liksom ICE fordon drivna på ren vätgas kan komma att kommersialiseras någon gång mellan 2012 och 2020.

Oljekommissionen påpekar att det är angeläget att både staten och näringslivet medverkar till att utveckla demonstrationsprojekt kring bränslecellsbusar och tillhörande infrastruktur i storstäder som Stockholm, Göteborg och Malmö.

APPENDIX 3: Motorer, drivlinor, kraftelektronik och IT-system

De elhybridfordon som nu utvecklas baseras på den traditionella drivlinan och fordonskonstruktionen. På sikt tror man dock att elhybrider och rena elfordon kommer att ha ganska lite gemensamt med sina föregångare. Genom tillgången till lokalt elsystem i elhybriden kan många funktioner frikopplas och styras individuellt. Detta gäller både placering av elmotorer, förbränningsmotorn, batterier och hjälpsystem. Den traditionella drivlinan kan således på sikt ha spelat ut sin roll och elhybriderna kommer att kunna få delvis nya köregenskaper.

En bra sammanfattning av teknikutvecklingsläget rörande hybridfordon återfinns i EU's rapport "Hybrids for Road Transport"⁶¹ samt IEA's publikation "Hybrids and Electrical Vehicles"⁶²

Förbränningsmotorer

Ett aktuellt forskningsområde för bensinmotorer omfattar insprutningstekniken. Gasoline Direct Injection, GDI tekniken har anammats av de flesta fordonstillverkarna och man beräknar att kunna minska bränsleförbrukningen med ca 15-20 procent. Nackdelen med metoden är dock att utsläpp av kväveoxider kan komma att öka.

Ett annat prioriterat utvecklingsområde omfattar homogen kompressionständning, vilket innebär att en homogen bränsle-luft blandning komprimeras och får självantända.

Variabel kompression är ett annat utvecklingsområde som också tilldrar sig stort intresse. Tekniken förväntas kunna ge en 30 procent bättre bränsleeffektivitet. Förutom bättre verkningsgrad förväntas denna metod även kunna ge lägre utsläpp av kväveoxider och partiklar.

Turbodirektinsprutning (TDI), skulle kunna sänka bränsleförbrukningen med 10-15 procent jämfört med dagens teknik.

Sedan länge pågår intensiv forskning och utveckling kring nya motortyper och alternativa bränslen. Exempelvis har forskare vid MIT bildat ett företag "Ethanol Boosting Systems" (EBS) för att förfina tekniken kring direktinsprutning av etanol och turboladdare i vanliga bensinmotorer. Resultatet har hittills visat sig bli en bensinmotor för etanoldrift med upp till 30 procent bättre bränsleekonomi än dagens. Kostnaden för motor/laddare lär också bli lägre än för konventionella motorer. Ford har skrivit kontrakt

⁶¹ Hybrids for Road Transport: Status and prospects of hybrid technology and the regeneration of energy in road vehicles; EU, DGTREN, Joint Research Centre

⁶² Hybrids and Electrical vehicles; past-present-future; IEA Implementing agreement for Hybrid and Electrical Vehicles technologies and programme, February 2006

med EBS att prova tekniken under 2007 och om allt går väl kommer den att introduceras kommersiellt kring 2010.

Forskare vid Chalmers Tekniska Högskola undersöker för närvarande en ny motorkonstruktion avsedd för hybridfordon. Motorn, som konstruerats utan vevaxel är en s.k. "Free-piston" motor vilket f.n. tilldrar sig visst intresse hos ett antal fordonstillverkare.

Motorn består av en dubbelcylinder med fyra utblåsningsventiler i vardera ända. Luft/Bränsleblandning tillförs via tolv inloppskanaler. Vid försöken har man använt sig av diesel som bränsle. Energin tas ut direkt som en elström via en linjär generator där permanentmagneter fästs vid kolvaxeln, som förbinder de båda kolvarna

Bland de lite mer spektakulära utvecklingsprojekten rörande helt nya motortyper kan exempelvis nämnas Rotoblock, som är ett nystartat utvecklingsföretag i Kalifornien. Företaget har utvecklat en annan typ av förbränningsmotor vilken baseras på en oscillerande rörelse av två kolvpar. Motorn är toroidformad med en centrerad mittaxel. En av fördelarna med denna motor är att effekt-viktförhållandet kan ökas radikalt jämfört med motorer som exempelvis baseras på vevaxlar. Rotoblocks motor ger 16 tändningar per varv jämfört med en normal 4-takts motor som endast ger fyra. Prototypen som konstruerats har fyra cylindrar, som kopplar mot två axelpar. En dubbel momentöverföring ger en cirkulär rörelse från den oscillerande rörelsen som uppgår till 22.5 grader. Rörelsen hos kolvparen medger en variabel förbränningskammarmotvolym.

Radmax direktinsprutningsmotor är en annan typ av innovation på motorområdet från utvecklingsbolaget Reg/RegiTech i Canada. Företaget har utvecklat två prototyper. En på 142 hk och en annan på 42 hk. Den senare är knappt 15 cm i diameter och 15 cm lång. Motortypen utvecklar minst två-tre gånger högre effekt och uppvisar halva vikten av en konventionell wankelmotor. Motorn är konstruerad som en rotormaskin med skivor längs axeln, där upp till 12 förbränningskammare bildas längs periferin.

Förbränningen äger rum i utrymmet mellan rotorn, kammaren och statorn. De 12 bladen ger upphov till 24 förbränningscykler per varv. Effekten blir därmed hög. Närmare 1,9 kW/kg vilket skall jämföras med en konventionell motor med 0,2 kW/kg. Kompressionsförhållandet är 20:1 vilket medför att diesel kan användas som bränsle. Motorn har enbart 13 rörliga delar vilket är enbart en tredjedel av en konventionell motor. Motorn saknar både kolvar och vevaxel och rotorn fungerar vidare som svänghjul och dämpar därmed eventuella ojämnheter i förbränning etc.

Förbättringar av bränsleekonomi

Den viktigaste faktorn för bränsleekonomin är utan tvekan fordonets massa, därefter kommer den aerodynamiska utformningen och rullmotståndet. I tabell A3.1 visas några förbättringsområden, där bilindustrin nu fokuserar sina ansträngningar.

Tabell A3.1 Förbättringsområden

FÖRBÄTTRINGSOMRÅDE	FÖRBÄTTRINGSOMRÅDE
Förbättrad bränsleinsprutning	Datorstyrd motorreglering
Förbättrad kompression vid låglast	Minskad kolvfriktion
Variabel ventiljustering	Variabel-volym turboladdning
Exhaust Gas Recirculation	Sexväxlad manuell växellåda
Förbättrad Elmotor styrning	Stop-and-go system
Cylinder de-aktivering vid låglast	Kontinuerlig-variabel transmission
Mild hybrider	Minskad vikt
Minskad mekanisk friktion	Bättre aerodynamisk utformning
Minskad hjul/däck friktion	

Företaget Ricardo genomförde på uppdrag av det brittiska transportministeriet en utredning för att analysera vilka åtgärder som kan vidtagas mot ökad CO₂ utsläpp från fordon. Resultatet visade att den viktigaste faktorn för att kunna reducera utsläpp och samtidigt minska bränsleåtgången, var fordonets vikt (massa), den aerodynamiska utformningen och rullmotståndet.

Massan kommer först och ger störst potential för förbättringar. Nya lättviktsmaterial, som aluminium, magnesium och olika kompositer konkurrerar med traditionellt stål. Stålintustrin försöker möta hotet från lättviktsmaterialen, genom att utveckla ett ultra-lätt stålmaterial. Målet är en 25 procent viktminskning jämfört med dagens konventionella material. Detta skulle exempelvis kunna erbjuda en förbättring av bränsleekonomin med drygt 12 procent.

Motorer, drivaxlar och upphängning kan också tillverkas av lättviktsmaterial som till exempel aluminium. En ramkonstruktion i lättviktsmaterial skulle exempelvis kunna bli 30-45 procent lättare än motsvarande stålkonstruktion.

Olika konceptbilar tillverkas idag av plast och kompositmaterial. Genom att drivlinan, hydraulstyrning m.m. helt försvinner med elmotorer och ökad användning av kraftelektronik kan framtidens fordon förväntas bli allt lättare.

Van der Brink och Van Wee [1999] fann i en studie att bränsleförbrukningen för en konventionell bil med ca 1000 kg vikt ökade med ca 7 procent för varje 100 kg vikt som tillkom.

Elmotorer

På grund av Plug-in hybridernas likströmsbatterier ligger användning av likströmsmotorer nära till hands. En likströmsmotor (DC-motor) består av en stationär cylindrisk del (statorn) och en roterande del (rotorn). Magneter monterade på statorn skapar magnetfält med omväxlande nord/syd poler. Rotorn innehåller lindningar. När en ström injiceras i lindningarna via kolborstar och kollektor kommer ett magnetfält att ge upphov till krafter som får rotorn att rotera. Likströmsmotorn har utmärkta egenskaper för framdriften, men är igengäld relativt dyr att tillverka. Likaså erfordras ett

regelbundet underhåll av både kollektor och kolborstar. Man kan särskilja mellan tre typer av likströmsmotorer, beroenden på hur magnetflödet i rotorn skapas.

SERIE- OCH SEPARAT EXITERADE LIKSTRÖMSMOTORER (DC-MOTORER)

I den serie exiterade motortypen skapas magnetfältet av elektromagneter vars lindningar ligger i serie med statorns armaturlindning, m.a.o. så går det samma ström i stator som rotorlindningar. I den separat exiterade motortypen regleras strömmarna i rotorn och statorn oberoende av varandra

PERMANENTMAGNET MOTORER

I denna motortyp erhålls magnetfältet inte från lindningar, utan från permanentmagneter vilka är normalt sett monterade på statorn.

VÄXELSTRÖMSMOTORER (AC-MOTORER)

AC-motorn är den mest använda motortypen och används idag i flertalet elbilstillämpningar. Detta beror framförallt att denna motortyp är både billigare och lättare än likströmsmotorn, kraftelektroniken till trots. Följande motortyper kan särskiljas:

ASYNKRONMOTORN

Denna motortyp kallas också "induktionsmotor" består av en stator med en trefas lindning vilka används för att skapa ett magnetfält och överföra energi till rotorn. Rotorlindningarna är i regel kortslutna och benämns ofta "ekorrhjul". Det finns ingen elektrisk kontakt mellan stator och rotor så asynkronmotorn behöver inte borstar och kollektor. Detta medför att asynkronmotorn i regel är underhållsfri och kan tillverkas för höga hastigheter, vilket innebär att den blir både billigare att tillverka, lättare och uppvisar högre verkningsgrader.

SYNKRONMOTORN

Hos synkronmotorn är armaturlindningen på statorn och fältlindningen på rotorn. Detta medför att rotorn alltid är synkroniserad med det roterande statorfältet. Synkronmotorer för el-bilstillämpningar tillverkas i många fall med permanentmagneter för exciteringen, vilket medför att man slipper borstar och kollektor.

BORTSLÖSA DC MOTORER

Denna motortyp är egentligen en AC-motor, t.ex. en permanentmagnetiserad synkronmotor, samt en kraftelektronik vilken skapar en kraft, moment och hastighetskaraktistik likt en DC motor. Sådana motorer kräver dock att man kan mäta rotorläget exakt.

RELUKTANS MOTORER

Denna, något mindre kända motortyp, kombinerar fördelarna hos asynkronmotorn vid exempelvis start med synkronmotorns egenskaper vid konstant hastighet. Normalt konstrueras reluktans motorerna som en asynkronmotor (inga rotorlindningar). Motorn får i regel ett högt effekt/viktförhållande, En hel del forskning ägnas för närvarande åt denna motortyp för att exempelvis minska inverkan av ljud och vibrationer, samt höja verkningsgraden.

Drivlinor

Hybridtekniken öppnar för nya typer av mekaniska och elektriska drivsystem och kraftöverföringsmetoder i framtidens fordon. Seriehybrider behöver till exempel inte någon kardanaxel eller växellåda, utan kraften överförs till hjulmotorerna via "wire" och elektriska kablar. Detta skulle kunna leda till både lättare fordon och högre verkningsgrader än vad fallet är med konventionella växellådor (vilka har verkningsgrad på ca 90 procent). Framtidens drivlinor skulle därmed kunna bli mekatroniska system som kommer att integreras med kraftelektronik och anslutas till fordonens allmänna styrsystem.

Kraftelektronik

Kraftelektronik från både konsumentprodukter och industrin börjar också få allt fler tillämpningar hos elhybrid fordonen. Det är framförallt behovet att kunna reglera motormomentet, att ta tillvara energin vid inbromsning, att kunna reglera strömmarna vid i- och urladdning av batterierna som ställer krav på kraftelektronik. Eftersom spänningen i elhybridfordon inte är så höga (300-600 V) klarar dagens krafthalvledare uppgiften mycket lätt. De relativt höga strömmar som uppstår i olika körsituationer leder dock till oönskade värmeförluster och dagens halvledarkomponenter behöver därför i regel extra kylning.

Utvecklingen av avancerad styrelektronik har i USA inriktats mot avancerad forskning inom området. Under 2005 utvecklade de statliga forskningslabben en 55 kW prototyp av en Z-inverterare. Oak Ridge National Laboratory i USA genomförde tester på en 55 kW Kisel-Kiselkarbid inverterare i samarbete med Vree och Semikron, vilken påvisade 34 procent lägre värmeförluster. National Renewable Energy Laboratory i Colorado utvecklade IGBT transistorer med förbättrade termiska egenskaper som inte behöver speciell kylning. Framtidens kraftkomponenter i elhybridfordon förutspås bli tillverkade av kiselkarbid. En teknik som sedan länge rönt ett stort intresse. Kiselkarbidtekniken kan sänka förlusterna i drivsystemen från 50 procent till enbart 5 procent och de kan också göras kompaktare tack vare kiselkarbidens mindre behov av kylning.

De stora aktörerna inom kiselkarbidutvecklingen är bl.a. amerikanska Cree, Siemensföretaget Sicystal, Nippon Steel och Norstel förutom Toyota. En ny fabrik för att tillverka kiselkarbid finns i Linköping.

I takt med en ökad efterfrågan kommer kraftelektroniken i elhybriderna att bli allt billigare. Funktionaliteten kommer att utökas och styrning, övervakning och reglering decentraliseras i "smartare" kraftelektroniska subsystem. Via databussar kommunicerar subsystemen för optimala prestanda och länkas mot elhybridernas energistyrssystem. Detta kommer att leda till säkrare fordon, mindre risk för spinning, sladd etc., liksom för optimalare användning av energikällorna som bränslemotor och batterilager.

Styr- och reglersystem

Idag utgör styrsystemen en central funktion i körförmågan hos fordon. Automatiska växellådor, motor insprutningssystem, katalytiska förbränningsenheter, anti-sladd system m.m. ombesörjs i allt högre grad av mikroprocessorer, logikkretsar och avancerad programvara.

IT teknik i fordonen och intelligenta trafiksystem

IT systemen har under lång tid bedömts kunna ge trafikanterna möjligheter till stora förbättringar. Man avser då både resplanering, information under färd och möjligheter till olika former av optimering. Via en nationell trafikdatabas skall information om vägar etc. göras mer allmänt tillgänglig. Trafikinformation via radionätet (RDS-TMC) fungerar idag i stort sett över hela Europa. Prov har genomförts i stor skala när det gäller intelligenta stöd för att hålla hastighetsgränser.

IT förutspås vidare att komma få en större betydelse när det gäller kommunikation med föraren och mellan fordon. Idag har vi system som varnar (t.ex. bältesspännare, alkolås, ljus, temperaturer m.m.). I framtiden kan vi exempelvis kunna få ytterligare system som varnar vid kort avstånd till framförvarnade bil, eller system som tar emot information från andra bilar om antisladdsystem aktiverats etc.

IT tekniken gör sig idag också påmind när det gäller elektroniska vägskyltar och variabla hastighetsgränser, tillgången till parkeringsplatser m.m.

Det är därför troligt att IT tekniken i framtidens elhybrider kommer att omfatta större andel IT och bl.a. komma att innehålla system som gör det möjligt för bilister att energiplanera sin resa med utgångspunkt från vägens beskaffenhet (backar, utförslöpor), kondition och trafikintensitet m.m.

Ford lanserade vid Bilmässan i Detroit i januari 2007 ett strategiskt samarbete med Microsoft. Avsikten är att introducera ett operativsystem i bilen som möjliggör ett fritt utbyte av olika medietekniker, CD, DVD, Mp3 etc. för bl.a. underhållning i fordonen. Systemet skall även möjliggöra processor kommunikation mellan olika delar i fordonen.

EcoDriving

En viktig faktor när det gäller bränsleförbrukningen är körsättet. Begreppet "Ecodriving" innebär ett "mjukare" körsätt med måttlig acceleration och planering av resan. En del bedömer att upp mot 30 procent bränsle kan sparas bara man kör på ett mer ekonomiskt sätt

Utvecklingsprognos

I tabell A3.2 görs en jämförelse och utvecklingsprognos för nyckelkomponenterna. Data är hämtade från rapporten "Hybrids for Road

Transport: Status and prospects of hybrid technology and the regeneration of energy in road vehicles; EU, DGTREN, Joint Research Centre,"

Tabell A3.2 Utvecklingsläget och prognoser för 3 till 5 år avseende nyckelkomponenter

TEKNOLOGI	2007	2010	2012
ICE-motor	Förbättrade motorprestanda	Prestandaförbättringar på ca 30 % genom bla variabel kompression etc.	Flertalet motorer går att driva på alternativa bränslen. Effektivitetsförbättring på ytterligare 20 procent
Elmotorer	Utveckling av reluktansmotorer, samt PMDC motorer med hög effekt/kg	Kostnaden för effektiva elmotorer sjunker med ca 20 %	Kostnaden för elmotorer sjunker ytterligare 20 %. Effektiviteten ökar 10 %
Styrsystem	Dagens styrsystem innehåller alltmer kraftelektronik baserad på kiseloxid	Kraftelektroniska komponenter baserade på kiselkarbid kommersiella	Elhybriders styrsystem kan kopplas mot IT informationssystem rörande väg och trafikförhållanden
Batterier Superkondensatorer	Utvecklingen sker framförallt för att utveckla kompakta litium-jon och litium-polymer batterier som kan uppvisa livslängder kring 10 år och hög effektsamt energitäthet.	Batterier och superkondensatorer förväntas ha sjunkit i pris med närmare 30 %. Batteripaket på 5-10 kWh finns att tillgå till de flesta elhybrider	Batterier och superkondensatorer förväntas ha sjunkit i pris med närmare 40%. Batteripaket på 8-16 kWh finns att tillgå till de flesta elhybrider

Kostnadsutvecklingen för elektriska motorer och generatorer

Några studier har redovisats vilka har försökt uppskatta kostnadsutvecklingen för olika typer av elektriska motorer. Komponentkostnader kan uppskattas med kännedom om material, arbetskraftsbehov och produktionsvolym. I tabell A3.3 ges exempel på motorkostnaderna för tillverkning i stora volymer (>100 000 per år).

Tabell A3.3 Kostnadsutveckling elektriska motorer (effekt/toppeffekt)

Kostnad (Euro)	AC induktion (40/67)		DC motor (20/52)		PMDC motor (32/53)	
	2005	2015	2005	2015	2005	2015
Material	291	262	285	257	390	281
montering	159	80	156	78	132	66
Försäljnings pålägg	90	17	88	17	104	17
Totalt	540	359	529	352	626	364

Ur studien framgår att trots olika kostnader i dagsläget är prisbilden för elektriska motorer i produktionsvolymen kring 100 000 enheter per år relativt likformig. I en annan studie vid UC Davies har kostnaderna för större volymtillverkning uppskattats till ca 8 Euro/kW, svarande mot ungefär 10€/kg.

På liknande sätt har prisutvecklingen för styrelektronik till motorerna kunnat uppskattas.

Tabell A3.4 Kostnad för styrelektronik i hybridfordon

År	AC MOTORER		DC MOTORER	
	2005	Volymtillverkning	2005	Volymtillverkning
Komponent	1000	350	750	270
Montage	100	25	100	25
Försäljningspålägg	220	19	170	15
Totalt	1320	394	1020	310

Kostnader i Euro (€)

Dagens motorstyrning är relativt dyr, till viss del beroende på att dessa är normalt konstruerade för betydligt högre effekter. Det är vidare troligt att allt fler funktioner kommer att kunna integreras i motorstyrningselektroniken.

Tabell A3.5 Jämförelse av olika motortyper

Motortyp	Fördelar	Nackdelar
DC motor	Reglering DC/DC omvandlare	Underhållet dyrt Låg effekt 300 W/kg
Induktion AC motor	Tillgång i stora volymer Effekt 150 W/kg Lätt underhåll Verkningsgrad ~90%	Kostnad för kraftelektroniken Hög Rotortemperatur
Synkronmotor, lindad rotor	Effekt 500 W/kg Enkelhet hos reglering Bra verkningsgrad	Underhåll Hög rotortemperatur Relativt okänd teknologi
PM motor	Effekt 1 kW/kg 5 Nm/kg >90% verkningsgrad	Kostnad
Reluktansmotor	Momenttätheten	Högfrekvens – låg verkningsgrad Kostnad för elektronik

Kostnaden för hybridiseringen och fördelarna med en förbättrad bränsleekonomi är de viktigaste parametrarna för hur den framtida utvecklingen av hybridfordon kommer att bli.

APPENDIX 4 Batterier och avancerade energilagrar för fordon

Ett omfattande utvecklingsarbete pågår världen över med att ta fram nästa generation batterier och energilagrar för fordonstillämpningar⁶³. Fokus har nyligen skiftat från Nickel-metallhydrid batterier till Litium-jon batterier men även FoU insatser mot superkondensatorer och andra energilagrarformer pågår.

En intressant utveckling sker inom området superkondensatorer, vilka lär kunna få extremt goda energilagrarförmåga. Dessa lagrar är inte kemiska utan lagrar elektroner direkt. Livslängd och laddningsprestanda för dessa lagrar vid horisonten.

Bly-syra batterier

VOLVO samverkar sedan några år med det nystartande företaget Effpower AB, vilka utvecklar ett kompakt bipolärt bly-syra batteri. Effpower som bildades under 1999 och stöds av Volvo Technology Transfer, Industrifonden, Gylling (Optima) m.fl. samarbetar med Banner Industries i Österrike kring utvecklingen av kompakta bipolära bly-syra batterier för elhybridfordonsmarknaden. Det nya batteriet bygger på tidigare patent från bl.a. Chalmers och utnyttjar blybelagd porös keramik i konstruktionen.

Effsys AB planerar att utveckla ett elhybridsbatteri som klarar 800 W/kg i urladdning och 400 W/kg i laddström. Vidare skall batteriet klara minst 500000 små urladdningscykler (2.5 procent) och ha en livslängd på mer än 5 år. Effsys tror att batteriet kan bli konkurrenskraftigt mot exempelvis NiMH batterierna eftersom priset lär komma att bli enbart 20 procent av ett sådant.

Volvo anger att man avser använda batteriet i sina tunga elhybrider (lastbilar och bussar) med start av eventuell serieproduktion från 2009. Avsikten är att spara in ca 35 procent av bränsleförbrukningen med hjälp av ett parallellhybridsystem i sin I-Sam konstruktion. Denna är en kombinerad framdrivningsmotor/generator som placeras mellan växellåda och motor och kopplad till automatväxellådan I-Gear.

En annan utveckling av Bly-Syra batteriet pågår på KTH. Med hjälp av en ny lätt superkeramik (Maxthal) har en forskargrupp på KTH konstruerat ett nytt bipolärt bly-syra batteri. Med hjälp av det nya supermaterialet Maxthal kan vikten sänkas rejält samtidigt som livslängden hos batteriet ökar.

Mittväggen är en bipolär platta, gjord av Maxthal med bly och blyoxid på var sida. Tanken är att i framtiden göra elektrodplattor av koppar, som sedan beläggs med ett tunt ytskikt av Maxthal. Cellerna uppvisar en spänning på 2,25 V och man har lyckats ta ut ca 1 A ström på en sex kvadratcentimeter

⁶³ Advanced batteries for Electric drive vehicles; Technical Report 1009299, EPRI, May 2004

cellyta. Detta svarar mot ca 450 A i "vanligt batteriformat". Batteriet, som lanserades i november 2006 finns ännu så länge som prototyp med två seriekopplade celler.

Nickel metallhydrid batterier

- Cobasys, som är ett "joint-venture" mellan Chevron Technology Ventures, vilken i sin tur ett dotterbolag till Chevron Corporation, och Energy Conversion Devices, Inc. Cobasys har hittills varit en tillverkare av NiMH-batterier och som sådan ska Cobasys leverera batterier till GM:s Saturn Vue och Accura Green Line hybrider.
- Valence Technology i USA marknadsför sitt Saphion® batteri. Batteriet är av NiMH typ

Litium-jon batterier

Ett stort antal batteritillverkare satsar nu på att ta fram batterier för hybridfordon.

- Advanced Battery Technology Inc. (Kina) utvecklar just nu Polymer Lithium-jon batterier enligt en ny metod.
- Lithium Technology Corporation (tillsammans med GAIA Accumulatorwerke GmbH) utvecklar Li-jon batterier till bl.a. Zytec Corp. Zytec kommer att sätta in ett batteri i en ombyggd SMART, som enl. uppgift skall kunna laddas på mindre än 1 tim.
- EnerDel har nyligen satt igång en av de första massproduktionslinjerna för Li-jon batterier i delstaten Indiana. Man räknar med att producera 5000 batterier av storlek 25 kWh per månad redan under 2007.
- AltairNano tillverkar sitt NanoSafe® batteri i storlekar 35 respektive 70 kWh. Batterierna kan snabbaddas på endast 10 min och företaget använder sig av nanotitanat i elektroderna. Tester av batterierna har påvisat att batterierna efter 15000 djupurladdningar förmår hålla över 85 procent av ursprungsenergin.
- Ett nystartat företag, NaoneXa och Dectron, har nyligen köpt rättigheterna från Argonne National Labs att tillverka Li-jon batterier enligt en ny metod.

Den 4 januari 2007 offentliggjorde GM sitt beslut att skriva kontrakt dels med A123System-Cobasys och dels med Johnson Control-Saft Advanced Power Solutions (JCS). Kontrakten avser testningar och utvärderingar av två olika Litium-jon-batterisystem i GM:s Saturn Vue Green Line plugin hybrid SUV. Enligt överenskommelsen ska Cobasys fungera som "Tier 1" leverantör och stå för systems integration, inkl. kapsling, värmeövervakning, kablage, elektronik och styralgoritmer. A123System ska fungera som "Tier 2"

leverantör och förse Cobasys med sina nanophosphate Litium-jon battericeller och teknologier.

A123 Systems är en avknoppning av MIT.:s batteriforskning och har idag 250 anställda. I december 2006 fick A123Systems⁶⁴ USD15 miljoner från USABC. (The United States Advanced Battery Consortium) för att utveckla en ny typ av avancerade batterier.

Även Johnson Controls-Saft Advanced Power Solutions (JCS) fick ett okänt antal miljoner USD från USABC för ett 24 månader långt Litium-jon-batteriutvecklingsprojekt från USABC i augusti 2006.

I september 2006 undertecknade JCS ett "Letter of Intent" med en icke-namngiven fordonstillverkare, gällande leveranser av Litium-jon-batterier för ett "a late 2008 model year" hybridfordon. Johnson Controls är redan en "Tier 1" leverantör till GM. Saft har tidigare levererat sitt Litium-jon batteri till GM Sequel Fuel Cell Concept.

Tillsammans med Mitsubishi Motor Corp och Mitsubishi Fuso Truck & Bus Corp has Japan Storage Batteries (JSB) utvecklat nya effektiva Litium-jon batterier för en rad olika tillämpningar. Genom att byta ut den relativt dyra koboltanoden mot en manganoxid har man nått både bättre prestanda hos Litium-jon batteriet som en lägre tillverkningskostnad. Man har observerat följande direkta förbättringar:

- Hög energiverkningsgrad både vid upp/ur laddningar
- Cellspänning som är tre gånger högre än NiMH vilket ger färre celler
- Laddningstillståndet är lätt mätbart

Upp/Urladdning kan ske med extremt låga förluster (liten värmeutveckling) Under 2002 testades prototyper i olika EV och HEV tillämpningar med gott resultat. Livslängden hos batterierna var avsevärd. Det visade sig att efter en körsträcka på 30,000 mil var restkapaciteten hos Litium-jon batterierna över 90 procent

I slutet av December 2006 informerade Nissan och NEC att man avser bilda ett gemensamt bolag för att utveckla nästa generations Litium-jon batterier för användning i elhybridfordon. Nihon Keizai Shimbun, rapporterade att massproduktion med sannolikhet kommer att kunna börja kring 2010 och att förhoppningarna är att kunna knappa in på det försprång som bl.a. Matsushita Electrical Inc. och Toyota har. Investeringarna i den nya fabriken ligger kring \$84 miljoner.

Toshiba utvecklade under 2005 ett nytt Litium-jon batteri, vilket uppmärksammats som ett genombrott inom Litium-jon tekniken. Fördelen med batteriet är att det kan ladda 80 procent av dess kapacitet på under 1 minut. Batteriet, som bygger på Toshiba's forskning kring nanomaterial använder nanopartiklar på den negativa katoden för att förhindra den organiska elektrolyten att förändras under uppladdningsförloppet. Batteriet

⁶⁴ Två plugin företag, HyMotion och Hybrids Plus, använder A123Systems' Litium-jon-batterier.

förutspås få en lång livslängd och tester som genomförts att energikapaciteten minskar med ca 1 procent efter 1000 urladdningscykler. Batteriet är också mycket temperaturtåligt och kan leverera upp till 80 procent av sin fullkapacitet ända ner till -40 grader C. Man påpekar från Toshiba att man avser massproducera batteriet från 2006. Egenskaperna hos batteriet talar för elhybridtillämpningar

Sanyo har redan tillverkat ett Litium-jon batteri med effekttätheter kring 3,5 kW/kg, vilket är mer än dubbelt så mycket som dagens NiMH batterier. Litium-jon tekniken, med cellspänningar kring 3,7 V behöver färre celler än exempelvis NiMH batterierna (1,2 V).

Bristen på billiga och effektiva batterier är en flaskhals i utvecklingen av hybridbilar. Därför betraktar Uppsalaforskarna sitt nya katodmaterial som ett stort genombrott. Det nya materialet har potential att bli tillräckligt billigt för att litiumjonbatterier ska kunna användas i hybridbilar, säger Anton Nyttén. I sin doktorsavhandling visar han att Litiumjärnsilikat ($\text{Li}_2\text{FeSiO}_4$) fungerar lika bra som katodmaterial som dagens dyrare material.

Jakten på alternativa katodmaterial har pågått i många år, och litiumjärnsilikat har varit en av kandidaterna tillsammans med till exempel litiumjärnsfosfat. Men trots intensiv forskning har ingen forskargrupp tidigare lyckats få litiumjärnsilikat att fungera elektrokemiskt i ett batteri.

De prestanda som uppmätts för till exempel förluster under upp- och urladdningar är jämförbara med dagens litiumjonbatterier. Nu går forskarna vidare med att utveckla en tillverkningsprocess för det nya materialet

Superkondensatorer

Superkondensatorer håller nu på att introduceras i elhybrider på grund av sina attraktiva egenskaper. Nya framsteg har under de senaste åren inneburit genombrott i materialteknologin. Bl.a. kan man nu producera avancerade nanomaterial på ett kostnadseffektivt sätt med exempelvis litografimetoder och "screen tryckning".

Genom förmågan att kunna hantera höga effekter förutspås nu superkondensatorerna kunna utgöra en effektiv komponent i elhybridernas energiförsörjningssystem, som kompletterar batterierna. fördelarna ligger huvudsakligen i superkondensatorernas möjlighet att klara höga strömmar vid upp/urladdning med hög verkningsgrad (> 95 procent).

Superkondensatorernas livslängd, med exempelvis över 100 000 cykler och lättheten att bedöma laddningstillståndet gör komponenterna intressanta för fordonstillämpningar. Till detta kommer att superkondensatorerna kan laddas med omedelbar verkan (sekunder), jämfört med batterier (minuter - timmar)

Egenskaper hos Superkondensatorer (exempel)

Egenskap	Värde
Specifik energi	5,7 Wh/kg
Energitäthet	7 Wh/l
Specifik effekt	5 kW/kg
Effekttäthet	6,4 kW/l

Magnetlagrade svänghjul

Ett svänghjulslager är enkelt beskrivet en massa som roterar kring en axel. Begränsningen hur mycket energi som kan lagras kommer huvudsakligen från två materialparametrar, nämligen hållfastheten och tätheten. Genom att energin ökar med kvadraten på rotationshastigheten är det i regel hållfastheten som utgör gränsen för hur snabbt systemet kan rotera. Tidigare generationer svänghjulslager har i regel konstruerats i massivt stål. Idag gäller snarare kompositmaterial, kolfiber, Kevlar och dylikt.

Genom magnetisk lagring (aktiv eller passiv) kan svänghjulslager teoretiskt kunna uppnå energitätheter kring 200 Wh/kg, alltså i klass med de bästa Litium-jon batterierna. I praktiken har man dock hittills valt att lägga konstruktionsgränser kring 50 Wh/kg alltså un. som för NiMH batterier. Fördelarna med svänghjulslager är dock många. Energiverkningsgraden kan uppgå till närmare 98 procent. Och livslängden är i princip obegränsad (>100000 djupcykler). Det är lätt att mäta energiinnehållet (varvtalet) och lagren innehåller inga farliga ämnen etc.

De svänghjulslager som nu testas i elhybrider är konstruerade med dubbla motriktade rotor vilka därvid kompenserar bort gyrokrafterna.

Framgångsrika experiment har gjorts med rotationshastigheter upp mot 100 000 varv per minut. Moduler för Plug-in hybrider skulle kunna konstrueras i storleksordningar 4-8 kWh och i ett längre perspektiv talas om det fyrdubbla, nämligen 16- 32 kWh och rotationshastigheter kring 200 000 varv per minut. Avgörande blir hur säkra konstruktionerna kan göras för att klara eventuella lagerhaverier m.m.

APPENDIX 5: Prognoser för personbils- utvecklingen i Sverige

Utvecklingen i Sverige

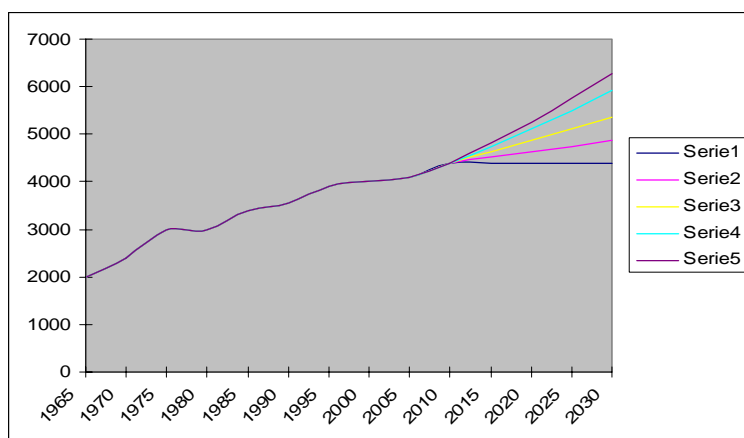
I Sverige började den starka expansionen av bilismen efter andra världskriget och Sverige var i mitten av 90-talet det land i Europa som hade den högsta biltätheten per invånare. Nybilsförsäljningen av personbilar i Sverige har under efterkrigstiden uppvisat mycket markanta toppar – med intervall om 11 eller 12 år – samt däremellan djupa dalar, och för större delen av perioden finns en klart uppåtgående trend.

År 1965 fanns det i Sverige drygt 2 miljoner personbilar. Tjugo år senare, 1985, uppgick antalet till 3,5 miljoner för att runt 2000 uppgå till närmare 4,1 miljoner. Detta innebär en historisk tillväxt mellan 1,5 till 2,2 procent per år.

I den personbilsprognos, som genomfördes av Lars Jacobsson⁶⁵ för några år sedan beräknas personbilsförsäljningen även i framtiden uppvisa cykliska variationer, dock inte lika markanta som tidigare. I studien görs en prognos att mellan åren 2002 och 2015 kommer personbilsbeståndet att öka från 4,1 miljoner bilar 2000 till 5,2 miljoner 2015, dvs en ökning om närmare 25 procent eller drygt 1,8 procent årligen under perioden.

En måttlig fordonstillväxt

Scenarierna spänner över tillväxt mellan 0,5 till 1,8 procent. I scenarierna (Kapitel 5) har en medeltillväxt på 0,8 procent använts. Detta svarar mot en ökning av fordonsflottan från 4,3 miljoner fordon 2010 till 5 miljoner fordon 2030.



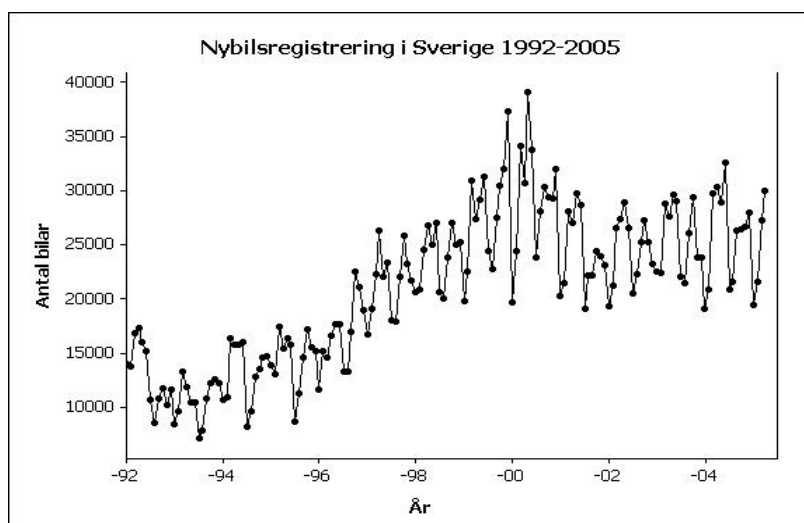
Figur 1: Tillväxten hos personbilsmarknaden i Sverige 1965-2006, Prognos till 2030 Serie1: 0%, Serie2: 0.5%, Serie3: 1%, Serie4: 1.5% Serie5: 1.8%

⁶⁵ Prognos för personbilstillväxt 2002-2015; Lars Jacobsson, BilSweden

Bilar skrotas allt tidigare

När det gäller skrotning av äldre fordon har tidpunkten kraftigt förändrats över tiden. Exempelvis skrotades år 1965 ungefär 35 procent av fordonen då de var 10 år. Skrotningsfrekvensen av äldre fordon har sedan dess ökat och år 2000 blev ca 50 procent av alla fordon skrotade inom 15 till 17 år. Enligt data från BilSweden skrotades 5,8 procent, 5,9 ,respektive 6,4 procent av fordonsflottan under åren 1999, 2000 och 2001. Antalet fordon som skrotas antas därför i scenarierna till värden mellan 5 procent och 8 procent per år och varierar något mellan scenarierna. En studie som nyligen genomförts visar att antalet nya bilar som säljs i Sverige stadigt har växt under den senaste 10-års perioden. Från ca 10000 per månad till nuvarande nivå kring drygt 25000. Försäljningen visar också på klara, och relativt stora, säsongsvariationer. Variationer som uppgår till ± 10000 fordon per månad.

Under perioden 1994 till 2000 finns en klart ökande trend hos årsförsäljning av nya fordon, medan perioden 2002 till 2006 har inneburit att ökningstakten stannat av och befunnit sig på en konstant nivå om ca 25,000 fordon per månad.



Figur: 2. Nybilsregistrering i Sverige 1992 till 2005

Utvecklingen av allt större och billigare batterier kommer med stor sannolikhet att också stimulera utvecklingen av rena eldrivna fordon. Tekniskt skiljer sig kategorierna inte nämnvärt åt i den mån som man avser drift i ren eldrift. Antagandet om tillväxten av plug-in hybrider kan därför innefatta även rena elfordon, även om denna studie inte specifikt har valt att betrakta eventuell tillväxt av elfordonsflottan.