

# Tvågradersmålet i sikte?

Scenarier för det svenska energi- och  
transportsystemet till år 2050

RAPPORT 5754 • OKTOBER 2007



# Tvågradersmålet i sikte?

Scenarier för det svenska energi- och transportsystemet  
till år 2050

Författare:  
Jonas Åkerman  
Karolina Isaksson  
Jessica Johansson  
Leif Hedberg

**Beställningar**

Ordertel: 08-505 933 40

Orderfax: 08-505 933 99

E-post: natur@cm.se

Postadress: CM-Gruppen, Box 110 93, 161 11 Bromma

Internet: [www.naturvardsverket.se/bokhandeln](http://www.naturvardsverket.se/bokhandeln)

**Naturvårdsverket**

Tel 08-698 10 00, fax 08-20 29 25

E-post: [natur@naturvardsverket.se](mailto:natur@naturvardsverket.se)

Postadress: Naturvårdsverket, SE-106 48 Stockholm

Internet: [www.naturvardsverket.se](http://www.naturvardsverket.se)

ISBN 978- 91-620- 5754-1 . pdf

ISSN 0282-7298

© Naturvårdsverket 2007

Tryck: CM-Gruppen AB

Omslag bilder: Stefan Isaksson/[www.pixgallery.com](http://www.pixgallery.com) (Vindmöllor),  
Jakob Halaska - Megapix: (Flygplan)

## Förord

I samband med arbetet för effektivare energianvändning och transporter har aktualiserats behov av ytterligare forskningsinsatser om hur energi och transporter kan utformas långsiktigt hållbart samt hur detta kan uppnås.

Naturvårdsverket har därför finansierat en forskningsinsats om framtida långsiktigt hållbara system för transporter och energi med fokus på kunskapssammanställning, pilotstudie med backcastingteknik, samt underlag till fortsatt forskning. Det övergripande syftet var att ta fram kunskap som kan bidra till en ekologiskt hållbar utveckling med fokus på energi- och transportområdet i Sverige. Forskningsinsatsen avser att ge underlag till ett kommande forskningsprogram.

Forskningsuppgiften har utförts av Jonas Åkerman, Karolina Isaksson, Jessica Johansson och Leif Hedberg vid Avdelningen för Miljöstrategisk analys – fms, KTH och uppdraget redovisas i denna rapport.

Under arbetets gång har en referensgrupp varit knuten till projektet och tillsammans med författarna till rapporten haft två möten. I referensgruppen har ingått Stefan Andersson, Gustav Ebenå, Kristina Feldhusen, Lennart Folkesson, Lars Ingelstam, Tomas Kåberger, Mats Nilsson och Kerstin Åstrand. Dessa har gett mycket värdefulla synpunkter på utkast av denna rapport.

Forskarna svarar själva för rapportens innehåll, varför den inte kan åberopas som Naturvårdsverkets ståndpunkt.

Stockholm i november 2007  
Naturvårdsverket



# Innehåll

<b>FÖRORD</b>	<b>3</b>
<b>SAMMANFATTNING</b>	<b>7</b>
<b>SUMMARY</b>	<b>13</b>
<b>1 INTRODUKTION</b>	<b>19</b>
1.1 Klimatfrågan - seklets utmaning?	19
1.2 Disposition - läsanvisningar	20
1.3 Syfte och inriktning	21
1.4 Angreppssätt och metodik – Vår tillämpning av backcasting	22
1.5 Systemavgränsning	27
1.6 Energi- och transportsystemet och dess klimatpåverkan	28
1.7 Målnivåer för växthusgaser	31
<b>2 UTGÅNGSPUNKTER FÖR SCENARIERNA</b>	<b>33</b>
2.1 Potential för bioenergi	33
2.2 Potential för annan koldioxidneutral energi	46
2.3 Tillförsel av energi i scenarierna år 2050	49
2.4 Transporter	53
2.5 Industri	61
2.6 Bostäder och lokaler mm	66
2.7 Teknikscenariot för energisystemet till 2050 – Räcker det med bättre teknik och ökad tillförsel av koldioxidneutral energi?	69
<b>3 SCENARIER FÖR SVERIGES ENERGI- OCH TRANSPORTSYSTEM TILL 2050</b>	<b>72</b>
3.1 Huvuddimensioner: Beteendemönster respektive tillförsel av bioenergi och annan förnybar energi	73
3.2 Scenarierna i sammandrag	75
3.3 Scenario 1: Materiell konsumtion i högt tempo/Bio-låg	77
3.4 Scenario 2: Materiell konsumtion i högt tempo/Bio-hög	84
3.5 Scenario 3: Tjänstekonsumtion i högt tempo/Bio-låg	88
3.6 Scenario 4: Tjänstekonsumtion i högt tempo/Bio-hög	94
3.7 Scenario 5: Utökad fritid och lägre konsumtion/Bio-låg	98
3.8 Jämförelse av energi- och transportsystemets struktur i scenarierna	102
3.9 Några slutsatser som kan dras utifrån scenarierna	106
<b>4 DISKUSSION KRING FÖRÄNDRINGS- PROCESSER I SCENARIERNA</b>	<b>109</b>
4.1 Teknisk förändring	109
4.2 Policyprocesser	112
4.3 Planering	115
4.4 Beteendeförändringar	116

4.5 Makt – aktörer och strukturer	117
<b>5 SAMMANFATTANDE REFLEKTIONER - VILKEN HANDLING KRÄVS IDAG OM TVÅGRADERSMÅLET SKA KUNNA NÅS?</b>	<b>121</b>
5.1 Bättre teknik och förnybar energi räcker inte för att nå tvågradersmålet	121
5.2 Tillförsel av energi	122
5.3 Transporter	123
5.4 Konsumtion/Produktion	127
5.5 Bebyggelse	128
<b>6 BEHOV AV VIDARE FORSKNING</b>	<b>130</b>
<b>7 SLUTORD</b>	<b>133</b>
<b>8 REFERENSER</b>	<b>134</b>
<b>9 BILAGA 1: BERÄKNINGSUNDERLAG</b>	<b>147</b>

# Sammanfattning

I denna studie presenteras fem scenarier för Sveriges energi- och transportsystem fram till 2050. De innebär alla att utsläppen av växthusgaser minskar med 85 % mellan år 2005 och år 2050, vilket är i linje med EUs och Sveriges tvågradersmål. Scenarierna visar på hur målet kan nås med olika prioriteringar. I alla scenarier krävs dock betydande trendbrott i förhållande till dagens utveckling, gällande både produktion och konsumtion av energi. Exempelvis krävs en ökad tillförsel av koldioxidneutral primärenergi, en kraftfull teknikeffektivisering och att dagens snabba ökning av inte minst lastbilstransporter, flygresor och resurskrävande varukonsumtion bryts. Detta innebär också betydande utmaningar för beslutsfattande i politik och planering. I studien förs en diskussion om hinder och möjligheter för att dessa olika sorters förändringar ska kunna realiserars. Mot denna bakgrund identifieras strategiska frågor som är angelägna att hantera i dagsläget om tvågradersmålet ska kunna nås.

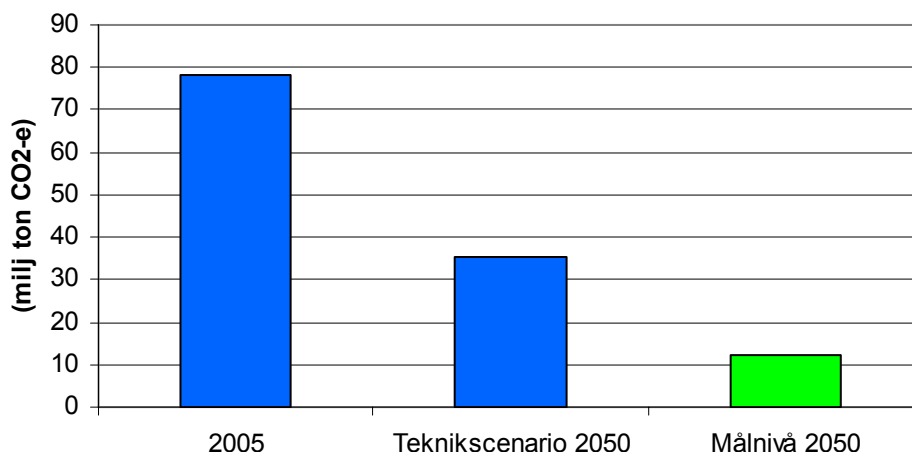
## Syfte och angreppssätt

Denna backcastingstudie syftar till att ge ett underlag för nutida beslut som berör strukturer eller system i samhället som har lång livslängd, främst transportinfrastruktur, bebyggelse, system för drivmedelsproduktion samt kraft- och värmeverk, men även fordonsflottor (inte minst flygplan och fartyg). Ett annat syfte är att ge underlag för en bredare samhällsdebatt om lösningar på klimatproblematiken genom att visa på olikartade framtidsbilder som kan nå målet. Eftersom detta är en pilotstudie så är ett viktigt syfte också att identifiera kunskapsluckor och därmed behov av framtida forskning. Det perspektiv som anläggs i studien är tvärvetenskapligt. Utarbetandet av framtidsbilderna för år 2050 präglas till stor del av ett energisystemperspektiv, medan analysen av hinder och möjligheter på vägen mot dessa framtidsbilder till stor del utgår från ett samhällsvetenskapligt perspektiv. Studien omfattar det svenska energi- och transportsystemets utsläpp av koldioxid samt flygets utsläpp av kväveoxider och vattenånga. Även utrikes sjöfart och utrikes flyg ingår. De utsläpp som behandlas utgör ca 80 % av de totala svenska utsläppen av växthusgaser.

## Räcker det med tekniklösningar?

Som ett avstamp för utarbetandet av de fem scenarierna har vi analyserat hur långt det är möjligt att komma med enbart tekniklösningar och utökad energitillförsel. I ett *Teknikscenario* har vi antagit att väsentliga teknikeffektiviseringar har fått fullt genomslag år 2050 samtidigt som inga försök gjorts för att påverka volymutvecklingen i respektive sektor, t ex volymen uppvärmd yta eller resandet. Tekniknivån som antas för 2050 innebär t ex att den specifika energianvändningen har minskat med 60-85% för personbilar, med 54 % för flyget och med 37-46 % för uppvärmning. Vi har för Teknikscenariot vidare antagit att tillförseln av förnybar energi utgörs av 200 TWh bioenergi (varav 60 TWh exporteras), 45 TWh vind- och våg-energi samt 68 TWh vattenkraft. För 20 TWh fossilt bränsle (eller biobränsle) har

vi antagit att koldioxiden kan samlas upp och lagras på ett säkert sätt. Dessa antaganden ger en utsläppsnivå för Teknikscenariot som visas i figur I nedan. Trots den kraftiga teknikeffektiviseringen och den förhållandevis höga tillförseln av förnybar energi så ligger utsläppsnivån 190 % över målnivån år 2050. Detta innebär att volymerna av resande, godstransporter, boendeyta och industriproduktion inte kan tillåtas öka enligt dagens trender, om det ska finnas en rimlig chans att nå 2-gradersmålet.



Figur I: Utsläpp av växthusgaser i ett Teknikscenario för år 2050 där kraftiga teknikeffektiviseringar genomförts och där man har en väsentligt ökad tillförsel av förnybar energi. Volymerna varu- och produktions, resande, boendeyta etc., antas utvecklas enligt dagens "låt gå prognoser" (se avsnitt 2.7). Alla staplar inkluderar utrikes flyg och sjöfart (se avsnittet om Systemavgränsning). För flyget är antaget en uppräkningsfaktor av koldioxidutsläppen med en faktor 2,5 år 2005 och en faktor 2,0 år 2050, för att ta hänsyn till utsläppen av kväveoxider och vattenånga (se avsnittet om Transporter).

### **Fem framtida Svenska energi- och transportsystem som når – 85 % växthusgaser**

I de fem scenarierna som når målen varierar dels människors sätt att leva, deras beteendemönster, och dels tillgången till bioenergi och annan koldioxidneutral primärenergi. I den första dimensionen ingår exempelvis tidsanvändning, val av boende samt rese- och konsumtionsbeteenden. Utgångspunkten för den andra dimensionen är två globala tillförselsscenarier, Bio/Hög där bioenergianvändningen är 80 PWh och Bio/Låg där den är 25 PWh (dagens bioenergianvändning är ca 14 PWh). Den totala energitillförseln är i scenarierna 158 respektive 118 PWh år 2050 vilket kan jämföras med 124 PWh år 2005. Båda scenarierna medför en minskning av de globala utsläppen av växthusgaser med 70 %. Utifrån de två globala tillförselsscenarierna utarbetas konsistenta svenska tillförselalternativ där energianvändningen per capita antas ligga 50-60 % över det globala genomsnittet, främst beroende på Sveriges energiintensiva exportindustri. I tabell I nedan visas hur tillgång på bioenergi kombineras med beteendemönster i de olika scenarierna. I scenario 1 och 2 arbetar människor relativt mycket och prioriterar en hög materiell konsumtionsnivå. Långväga flygresande är nedprioriterat. I scenario 3 och 4 däremot, prio-

riteras långväga resor och upplevelser högre än ren varukonsumtion. Scenario 5 har vissa likheter med 3 och 4 såtillvida att upplevelser prioriteras högre än materiell konsumtion. Dock skiljer detta scenario ut sig från de övriga i det att arbetstiden är kortare och tempot i samhället lägre.

**Tabell I: Scenariernas dimensioner**

Beteendemönster Energitillförsel	Högt tempo och materiell kon- sumtion	Högt tempo och upplevelseinriktad konsumtion	Lägre tempo och upplevelseinriktad konsumtion
Stor global tillgång på bioenergi (80 PWh)	Scenario 2	Scenario 4	Behandlas ej. Minst utmaning att nå målen i detta fall.
Liten global tillgång på bioenergi (25 PWh)	Scenario 1	Scenario 3	Scenario 5

### **Några slutsatser som kan dras utifrån scenarierna om vad som krävs för att minska utsläppen med 85% till år 2050**

- Betydande **teknikeffektivisering** krävs i alla sektorer (bebyggelse, industri, transporter).
- Även med stor effektivisering behöver **efterfrågan** på vägtransporter, flygresande, konsumtionsvaror, boyta mm, **påverkas mot en lägre nivå** än i Teknikscenariot. Beroende på prioriteringar behöver olika sektorer påverkas olika mycket.
- **Vindkraft** är viktigt i alla scenarier och medför förhållandevis få konflikter med andra miljömål (i huvudsak buller och estetiska problem).
- Stor osäkerhet råder om framtida tillgång **på biobränsle** främst globalt men även i Sverige. I scenarierna står biodrivmedel för mellan 0 och 50% av transportsektorns energianvändning år 2050. Det finns därför anledning till en viss försiktighet när det gäller storskaliga investeringar i **biodrivmedel för transportsektorn**. Forskning, utveckling och demonstration av andra generationens drivmedel är dock angeläget.
- Sverige har stora möjligheter att bli en betydande **nettoexportör** av både biobränslen och el.
- **Plug-in hybrider** som använder el från nätet och (t ex) **diesel eller metanol** är troligen ett bättre alternativ än bränslecellsbilar och vätgas på medellång sikt.
- Det behövs ett paradigmskifte i planeringen **från mobilitet till tillgänglighet**. Detta innebär bl.a. en **stadsplanering som ökar cykel- och kollektivtrafikens konkurrenskraft** och bidrar till korta avstånd till service (livsmedel, dagis mm) samt ersättande av en viss del arbets- och tjänsteresor (upp till ca 20 %) med högkvalitativ **IT-kommunikation**.
- Vid planering av ny **infrastruktur** behöver man noga beakta vilka transportvolymmer som år 2050 är förenliga med att målen nås. Investeringar i **IT** (virtuella möten mm) och **spårinfrastruktur** bör prioriteras. Stor restriktivitet bör iaktas för investeringar i ökad vägkapacitet som leder till

nygenererat resande och ökade utsläpp. Bilresandet per person minskar i alla scenarierna.

- **Värmepumpar** är i de flesta scenarier ett bättre alternativ än fjärrvärme eller biobränslepannor i småhus. Vid låg tillgång på biobränslen och god tillgång på el kan värmepumpar även vara ett alternativ för vissa flerbo-stadshus.

### **Hinder och möjligheter för att realisera framtider liknande de som beskrivs i scenarierna**

De åtgärder som utifrån denna studie framstår som nödvändiga eller i alla fall strategiskt mycket viktiga för att möjliggöra uppfyllelse av målet om 85 % minskad förbrukning av växthusgaser förutsätter både en teknikutveckling men också att förändringar genomförs när det gäller politik och planering samt i människors vardagsliv. Analysen av hinder och möjligheter för förändring pekar tydligt på vikten av att förstå de sociokulturella aspekterna av att driva förändring i dessa avseenden. I varje sammanhang där förändring skall genomföras behöver en analys göras av förutsättningarna – dels i form av nyckelaktörer, som har en central ställning för att förhindra eller möjliggöra förändringen i fråga att komma till stånd, dels i form av strukturer – det kan vara institutionella aspekter såsom lagar och regler eller invanda perspektiv och förhållningssätt. Att peka på de komplexa sammanhangen och det kontext- och situationspecifika betyder ingalunda att förändring är omöjligt. Men för att kunna driva förändring krävs kunskap om förutsättningarna. Av vikt är också att inse att målet om kraftigt minskade utsläpp av växthusgaser förutsätter tämligen radikala förändringar som kommer att medföra konflikter mellan olika aktörer och intressen. Det krävs en beredskap inte minst hos politiker och andra beslutsfattare att kunna hantera de svåra avvägningar och prioriteringar som behöver göras.

### **Forskningsbehov**

I denna pilotstudie har vi påbörjat en tvärvetenskaplig analys av hur hållbara energi- och transportsystem skulle kunna se ut och hur en omställning i en sådan riktning skulle kunna gå till. Vi tror att det finns mycket att vinna på att fördjupa denna typ av studie där naturvetenskap, teknik och samhällsvetenskap kombineras. Dessutom har vi identifierat några mer avgränsade nyckelområden där ökad kunskap är speciellt angeläget:

- Framtida tillgång på biomassa för energiändamål samt framtida globala konsumtions- och produktionsmönster (scenariometodik kan med fördel användas).
- Återkoppling av oundvikliga klimatförändringar på energitillgång och energiefterfrågan (minskat uppvärmningsbehov, ökat kylbehov, ändrade turistströmmar mm).
- Indirekt energianvändning för transporter (bygge och drift av infrastruktur, tillverkning av fordon och produktion av bränslen) står för 40-60% av transportsystemens totala energianvändning men glöms ofta bort.

- Vilka diskurser och paradigmer dominerar dagens förståelse av klimatfrågan och efterfrågan på energi och transporter? Vilka är dessa diskurser/paradigms historiska rötter och hur kan de förändras? (Ex: Hur kan man skifta fokus från mobilitet till tillgänglighet?)
- Hur korresponderar olika administrativa och geografiska nivåer i energi- och transportinfrastrukturplaneringen? Vilken logik styr exempelvis inriktningsplaneringen för vägar och järnvägar och hur skapar den förutsättningar för förändring lokalt?
- Fördelningspolitiska aspekter lokalt, nationellt och globalt har stor betydelse för möjligheterna att få acceptans för kraftfulla åtgärder.
- Identifiera strategier/åtgärder som är flexibla så att de kan nå olika målnivåer (ex 85 eller nära 100 % reduktion till 2050).



## Summary

In this study five scenarios for the Swedish energy and transport system until 2050 are outlined. The target, which they are all designed to meet, is a reduction of greenhouse gas emissions by 85% between the year 2005 and 2050. The resulting emission level per capita would, if generalized globally, imply that global warming probably would not exceed two degrees compared to the pre-industrial level. In all scenarios significant trend-breaks are necessary in order to reach the set-up emission target. There is a need for a substantial increase in renewable energy supply and much more efficient end-use technology. But it is also necessary to limit the growth rate of e.g. lorry transport, air travel and consumption of resource intensive goods. It is clear that there is a need for fundamental change of planning and decision making – not only at a policy level but also when it comes to the everyday life of people and professionals. In the study barriers to change are discussed and opportunities pointed out, both from a technical, socio-cultural and institutional perspective. Out of this, a number of issues are identified as being of crucial importance if the aim to reduce greenhouse gas emissions by 85% until 2050 shall be fulfilled.

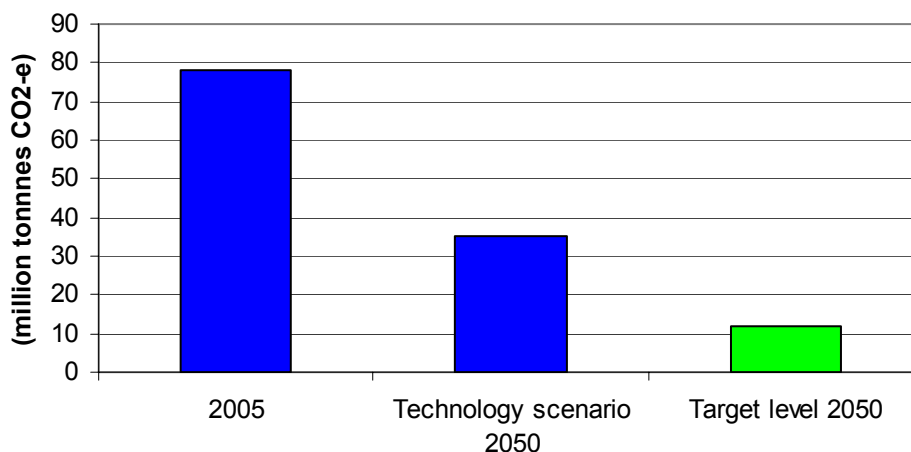
### **Aim and approach**

The main aim of this backcasting study is to give input to current planning and decision making concerning long-lived societal structures – e.g. transport infrastructure, built-up areas, fuel production facilities, power and heat stations, but also vehicle fleets – if global warming is to be limited to two degrees. Another aim is to provide a basis for a more general discussion on what kind of futures that are to be preferred from different perspectives. Being a pilot study it has also embraced identifying areas where further research is needed. The approach has been interdisciplinary covering both natural science and social science. The system delimitation used is the Swedish energy and transport system including international aviation and sea transport. Greenhouse gases included are carbon dioxide and aviation's emissions of nitrogen oxides and water vapour. Together the emissions focused stand for about 80% of the total Swedish emissions of greenhouse gases. A key assumption in the study is that the level of Swedish greenhouse gas emissions per capita in 2050 is at the global average needed to reach the target.

### **Is it sufficient with improved end-use efficiency and increased supply of carbon neutral energy sources?**

In a *Technology scenario* we have assumed that substantial efficiency improvements have been realized by the year 2050 but that no attempts have been made to halter the growth of, e.g. travel, goods transport and resource intensive consumption. According to present business as usual forecasts lorry transport will increase by 110%, air travel by more than 300%, and industrial production by 40-300% (depending on industry sector) until the year 2050. In the Technology scenario specific energy use has decreased by 60-85% for passenger cars, by 54% for

aviation and by 37-46% for residential heating. Furthermore it is assumed that renewable energy supply, in particular windpower and bioenergy, has increased and that 5 million tonnes of carbon dioxide can be safely captured and stored annually. The resulting emission level in the Technology scenario is presented in figure I. Despite these changes the emission level is 190% above the target level for the year 2050. A conclusion is thus that growth rates of, e.g. travel and goods transport, have to be limited, if the set up target should be reached.



**Figure I:** Emissions of greenhouse gases in a Technology scenario for 2050 where substantial technology improvements have been realized and the supply of carbon neutral energy has been increased. All bars include international aviation and maritime transport. For aviation it is assumed that the Emission weighting factor (to take into account emissions of nitrogen oxides and water vapour) is 2,5 in 2005 and then is reduced to 2,0 in 2050.

### Five scenarios for the energy and transport system that reaches an 85% reduction of greenhouse gas emissions

Two main dimensions are varied in the scenarios. The first relates to behavioural patterns and incorporates travel and consumption patterns as well as attitudes towards time use, including pace in daily life. The second dimension relates to global energy supply in general and supply of bioenergy in particular. Two global supply alternatives are outlined which both imply a 70% reduction of greenhouse gas emissions. From each of these a consistent Swedish energy supply alternative is derived. The Swedish energy use per capita is 50-60% higher than the global average in the corresponding supply alternative, which is mainly due to the energy intensive Swedish export industry. In table I below is shown how energy supply alternatives are combined with different behavioural patterns to form the five scenarios. In scenario 1 and 2 formal working time is as high as in 2005 and material consumption is the highest of all the scenarios. Air travel has a comparatively low priority. In scenarios 3 and 4 on the other hand people are more oriented towards experiences, consumption of services, including air travel, is in focus. Scenario 5 have certain common features with scenario 3 and 4, e.g. the focus on experiences,

but in this scenario, unlike all the others, working time has been cut by 25% and pace in society is lower.

**Table I: Dimensions of the scenarios**

Behaviour	Material consumption and a fast pace	Service consumption and a fast pace	Increased leisure time and lower consumption
Energy supply			
High global supply of bioenergy (80 PWh)	Scenario 2	Scenario 4	Not treated. Easiest to reach targets here.
Low global supply of bioenergy (25 PWh)	Scenario 1	Scenario 3	Scenario 5

### Conclusions from the scenarios

- Much more energy efficient technology is necessary in all sectors (buildings, industry, transport).
- But, efficiency is not sufficient to reach the target. The fast volume growth of, e.g. road transport, air travel and resource intensive consumption, must be also be reduced significantly.
- Windpower is important in all scenarios and have few environmental drawbacks (mainly noise and visual intrusion).
- There is a considerable uncertainty regarding potential for biomass that can be used for energy purposes and especially regarding transport fuels. Therefore investments in large scale fuel production may not be first priority. Still research and development of new more efficient fuel production processes is important.
- Sweden has a good chance to become a net exporter of both bioenergy and electricity.
- Plug-in hybrids using electricity from the grid and, for instance, diesel or methanol is probably in the mid term a better alternative than fuel-cell vehicles running on hydrogen.
- A shift of paradigm is needed, from mobility to (functional) accessibility. The implications of such a shift would be an urban planning scheme that focused on shortening distances to daily services and increasing the competitiveness of cycling and public transport. ICT (Information and communication technology) might also substitute for a part of commuting and business travel.
- What transport volumes that are consistent with keeping global warming below two degrees should be kept in mind when planning investments in longlived infrastructure. Investments in rail infrastructure and ICT should be given priority. It is worth noting that car travel does not increase in any of the scenarios.
- Heat pumps are in most of the scenarios a better alternative than district heating or biofuels for single family dwellings. In cases where supply of

bioenergy is low and supply of electricity is high, heat pumps may also be a good alternative for some multi family dwelling.

### **Barriers and opportunities**

In all scenarios, there is a need for an accelerated technology development. As stated above, this will however not be sufficient. There is also a need for change concerning planning and decision making – both at a policy level and in everyday life. The analysis of barriers puts focus on the importance of understanding socio-cultural aspects of change. Where change is needed an analysis has to be made regarding prerequisites, in the form of key actors but also of structures like institutional aspects; laws, regulations, discourses and attitudes. The study thus diverges from an instrumental perspective towards change. Rather, emphasis is put towards specific contextual factors such as path dependency, history, culture and attitude of the key-actors and institutions being involved. To point out these specific prerequisites does not mean, however, that change is impossible, but that case specific knowledge is necessary. Here it is important to notice that the changes that have been identified as necessary for fulfilling the goal of substantial emission reductions most likely will entail conflicts between powerful actors and interests. Decision makers need to be sufficiently prepared to handle the difficult and sensitive prioritations that they will face. Thus there is a need for strategic thinking and action in planning and decision making at all levels in society.

### **Research needs**

In this pilot study we have initiated an interdisciplinary analysis of what a sustainable energy system for Sweden might look like and how the present system could be turned in such a direction. We think it would be fruitful to make a more comprehensive study in which natural sciences and social sciences are combined and we have also identified some more specific areas where further research is needed:

- Future supply of biomass for energy purposes.
- Future global consumption patterns including diets (scenario methodology might be used for this).
- Feed-backs on energy demand caused by a changing climate, e.g. reduced heating requirements, increased demand for cooling of buildings and altered tourist flows.
- Indirect energy use for transport – associated with building of infrastructure, manufacturing of vehicles, production of fuels etc – which may account for up to 60% of total transport energy use, but is seldom taken into account.
- What discourses and paradigms are dominating the present understanding of the climate issue and the demand for energy and transport? What are the roots of these paradigms and how can they be changed? For instance: How can focus be shifted from mobility to accessibility?
- What is the logic behind the present Swedish infrastructure planning?

- Distributional aspects at a local, national and global level which may be important for acceptance of policy measures.
- Identifying strategies, which are flexible enough to reach different target levels, e.g. an 85% or a 95% reduction until 2050.



# 1 Introduktion

## 1.1 Klimatfrågan - seklets utmaning?

För bara ett par år sedan kringgärdades frågan om de pågående klimatförändringarna av en påtaglig skepsis från många håll. Trots att skeptikerna inom det vetenskapliga samfundet har varit få under senare år, har de givits ett tämligen stort utrymme i mediadebatten. Mycket har dock förändrats bara under det senaste året. Sedan Sternrapporten publicerades hösten 2006, samt i takt med de nya rapporterna från FN:s klimatpanel under våren 2007 tycks en ny enighet råda om att världen står inför en klimatförändring som är i huvudsak orsakad av mänskliga aktiviteter, och som riskerar att få dramatiska konsekvenser. En aspekt som sannolikt bidragit till att klimatförändringarna nu tas på allvar inom de allra flesta delar av samhället är att den tidigare ofta hävdade motsättningen mellan å ena sidan ekologisk hållbarhet och å andra sidan ekonomisk och social hållbarhet nu ser ut att lösas upp. Enligt exempelvis IPCC (2007) och Stern (2006) så är det nu tydligt att kraftigt minskade utsläpp av växthusgaser (en viktig komponent i ekologisk hållbarhet) i själva verket är en nödvändig förutsättning för att inte den långsiktiga ekonomiska utvecklingen ska drabbas. Det är betydligt mindre kostsamt att minska utsläppen idag än att försöka reparera skadorna i efterhand (många klimateffekter riskerar dessutom att vara irreversibla). Enligt Stern (2006) skulle det kosta i storleksordningen ett par procent per år av den globala BNP för att minska utsläppen till acceptabla nivåer, medan skadorna, om inget görs idag, skulle kunna uppgå till motsvarande 15-20% av den globala BNP år 2050.

Även om kostnaderna således inte ter sig avskräckande så kommer en omställning mot kraftigt minskade utsläpp att innebära svårigheter och utmaningar på flera plan. Fossil energi, som står för ca 80 % av utsläppen av växthusgaser, ingår som insatsvara i de flesta aktiviteter i dagens samhälle. Det kommer att krävas intensifierade forskningsinsatser och en accelererande takt av tekniska innovationer. Men, som analysen i avsnittet *Tekniscenario* i kapitel 2 visar; effektivare teknik i kombination med koldioxidneutral energi är inte tillräckligt om efterfrågan på resor, bostadsyta och konsumtionsvaror fortsätter att öka i dagens takt. Det behövs en förändring av beteenden. Detta kan komma att uppfattas som besvärligt, men kan också öppna upp för nya positiva möjligheter, speciellt om samhällets tekniska och organisatoriska strukturer i god tid kan börja förändras så att de stöttar de beteendeförändringar som krävs.

Sammantaget krävs trendbrott och systemskiten på olika områden i samhället. Olika slags trögheter försvårar emellertid möjligheterna till en förändring. Den rådande infrastrukturen, bestående av vägar, järnvägar, flygplatser, tele- och elnät, fjärrvärmesystem etc., kan inte bytas ut eller ändras omgående. Institutionella aspekter i form av uppbyggda organisationer med invanda synsätt, djupt rotade

systemkulturer och specifik kompetens- och professionsstruktur, utgör mer eller mindre svåröverkomliga hinder för de förändringar som behöver komma till stånd. I de politiska systemen finns formella och informella maktstrukturer som också påverkar vilka förändringar som är möjliga och/eller i vilken takt de kan genomföras. De förändringar som diskuteras i denna studie kommer, om de genomförs, således inte att kunna ske friktionsfritt. Alternativet, att vänta och se, riskerar dock att i ett senare skede innebära en påtvingad närmast kaotisk omstöpning av samhället på en betydligt kortare tidsperiod, sannolikt med stora sociala och ekonomiska upppoffringar som följd.

Utgångspunkten för denna studie är EUs och Sveriges målsättning att jordens medeltemperatur inte ska tillåtas öka med mer än två grader. För att ha en rimlig chans att nå detta mål krävs en utsläppsminskning på 85 % för det svenska energi- och transportsystemet, förutsatt att den svenska utsläppsnivån per person år 2050 är lika hög som den globala genomsnittliga nivån. Förändringen varken kan eller bör åstadkommas av Sverige eller EU själva. I rapporten förutsätter vi en i grova drag likartad rörelseriktning över större delen av den industrialiserade världen vad gäller åtgärder som minskar människans klimatpåverkan. Dock kommer fokus i till största del att ligga på det svenska systemet och de förändringar som kan initieras i detta sammanhang.

## 1.2 Disposition - läsanvisningar

I fortsättningen av detta introduktionskapitel beskrivs syfte, angreppssätt och systemavgränsning för föreliggande studie. Sedan följer en kort beskrivning av det svenska energi- och transportsystemet och dess utsläpp av växthusgaser. Detta avsnitt består dels av en kvantitativ beskrivning av energisystemets tillförsel- och användningssida samt de utsläpp som orsakas, och dels en beskrivning av energisystemet som sociotekniskt system. Slutligen härleds vilka nivåer på utsläpp av växthusgaser som är förenliga med målsättningen att jordens medeltemperatur inte ska öka med mer än två grader.

I kapitel 2 görs dels en beskrivning av nuläget i det svenska energisystemets delar, och dels en analys av potentialen för energitillförsel och teknikeffektiviseringar år 2050. I anslutning till detta presenterar vi även ett så kallat Teknikscenari. Detta illustrerar en utveckling där bästa möjliga teknik antas vara införd och tillförseln av koldioxidneutral energi ökat väsentligt, men där inga åtgärder vidtagits för att påverka volymutvecklingen vad gäller varukonsumtion, resor och boyta.

I kapitel 3 presenteras fem stycken sinsemellan olika scenarier som alla är utformade för att nå målnivåerna för växthusgaser och energianvändning. Scenariobeskrivningarna består dels av framtidsbilder av energi- och transportsystemet år 2050 och dels av en diskussion av hinder och möjligheter för att leda in utveckling-

en mot framtidsbilderna. Kapitlet avslutas med en diskussion kring framtidsbilderna år 2050.

I kapitel 4 diskuteras de förändringar som förutsätts i de olika scenarierna. En viktig del av diskussionen i det kapitlet handlar om att belysa grundantaganden om vad som genererar förändring samt analysera hinder och möjligheter.

I kapitel 5 görs en sammanfattande diskussion kring lämpliga förändringar och åtgärder som kan initieras i nutid när det gäller energiproduktion, tekniska system och infrastrukturer, behov av klargöranden på policynivå samt en diskussion kring styrmedel som ter sig intressanta i dagsläget.

I kapitel 6 identifieras behov av vidare forskning.

Några avslutande ord följer i kapitel 7.

I bilaga 1 återfinns beräkningsunderlag för de olika framtidsbilderna.

## 1.3 Syfte och inriktning

I denna studie utarbetas fem scenarier för det svenska energi- och transportsystemet som alla skulle innebära en 85 % reduktion av utsläppen av växthusgaser till år 2050 jämfört med 2005.

Ett centralt syfte med scenarierna att ge underlag för nutida beslut som berör strukturer eller system i samhället som har lång livslängd. Detta gäller i synnerhet transportinfrastruktur och bebyggelse, men även system för drivmedelsproduktion, kraftverk samt fordonsflottor (inte minst flygplan och fartyg). De val som på dessa områden görs idag, kommer till stor del att påverka möjligheterna att nå målnivåer år 2050 och senare. En viktig del av studien utgörs av en analys av hinder och möjligheter på vägen mot framtider liknande de som presenteras i scenarierna. Eftersom detta är en pilotstudie så är ett viktigt syfte också att identifiera kunskapsluckor och därmed behov av framtida forskning. Ett tredje syfte med studien är att ge ett bidrag till den pågående samhällsdebatten om klimatförändringarna och de utmaningar dessa innebär. Detta försöker vi uppnå genom att presentera framtidsbilder där olika kombinationer av tekniska lösningar, energitillförsel, infrastrukturlösningar, resmönster, tidsanvändning etc., vävs ihop till konsistenta beskrivningar av möjliga framtida tillstånd. Även om det förstås finns många fler tänkbara framtidsbilder som når målen, så kan de ge en uppfattning om storleksordningen på de förändringar som krävs om klimatförändringens värsta konsekvenser ska kunna undvikas. De olika egenskaperna hos framtidsbilderna kan förhoppningsvis också stimulera en debatt kring vilka lösningsförslag som är mest attraktiva.

I denna pilotstudie försöker vi täcka ett stort område med en ändå rätt begränsad resursinsats. Det övergripande systemperspektivet är i fokus och vi gör få detaljerade analyser.

## 1.4 Angreppssätt och metodik – Vår tillämpning av backcasting

Vi har valt att använda backcasting som ansats eller angreppssätt i denna studie. Backcasting är ett angreppssätt som syftar till att visa på *möjliga lösningar* på något stort samhällsproblem, inte att förutspå den mest sannolika utvecklingen. I synnerhet är backcasting lämplig när man misstänker att det kommer att krävas mer än marginella förändringar av dagens rådande trender och paradig. De globala klimatförändringarna, som sannolikt är ett av de mest svårartade utmaningar som mänskligheten hittills ställts inför, förefaller vara ett typexempel på ett sådant fall. Samhällsutvecklingens hittillsvarande kanske mest centrala paradig – ekonomisk tillväxt som bygger på användning av billiga fossila bränslen – ser ut att vara en grundorsak till klimatproblematiken. Ett utmärkande drag i backcasting är att frigöra utformningen av framtidsbilderna från rådande trender och nutidens ”etablerade sanningar”. Backcastingansatsen kan genomföras på olika sätt (se t ex Robinson, 1990; Dreborg, 1996; Höjer & Mattson, 2000; Gullberg m.fl., 2007).

I det följande beskrivs stegen i backcasting och hur de genomförts i denna studie vilket är i linje med Höjer & Mattson (2000) och Gullberg m.fl. (2007):

### 1. Identifiering av problemet samt val av kriterier och mål.

I detta steg analyseras olika delområden för att identifiera viktiga frågeställningar inom det valda problemområdet. Systemgränser analyseras, problemfokus väljs och kriterier och mål fastställs.

I denna studie ligger klimatproblematiken i fokus. Utifrån den senaste klimatforskningen formulerar vi en målnivå för globala utsläpp av växthusgaser år 2050. Ett uppnående av denna målnivå skulle innebära 50 % sannolikhet att uppnå EUs målsättning att begränsa jordens uppvärmning till två grader. Tillgången på koldioxidneutral primärenergi är en nyckelfaktor för att kunna nå utsläppsmålet. Två globala tillförselalternativ för år 2050 utformas, som båda innebär att målet för utsläpp av växthusgaser precis nås. Den största, men inte enda, skillnaden mellan dessa är mängden biomassa som används för energiändamål. Den svenska energianvändningen per person baseras på den genomsnittliga globala nivån, men justeras sedan uppåt av två skäl. För det första har Sverige en förhållandevis energiintensiv exportindustri och eftersom vår systemavgränsning innefattar all industriverksamhet på svenskt territorium så väljer vi att justera upp Sveriges energianvändning i scenarierna på grund av detta. För det andra har Sverige en tillgång på inhemsk förnybar energi som (åtminstone innan solen blivit konkurrenskraftig) per person ligger betydligt över det globala genomsnittet. Vi antar att detta också bidrar till en något högre energianvändning på grund av kostnader förknippade med transport av primärenergi och på grund av att det kan finnas ett socialt tryck att inte helt anpassa

den inhemska prisnivån till den i andra länder. Sammantaget gör detta att den svenska energianvändningen per person i scenarierna ligger 50-60% över det globala genomsnittet år 2050. Då förutsätts ändå en betydande energiexport i de flesta av scenarierna. Det primära målet som gäller utsläpp av växthusgaser omformuleras alltså till ett energimål, vilket är det som vi huvudsakligen sedan räknar på.

## **2. Analys av om målen kan nås med måttliga förändringar av dagens trender.**

Om det visar sig vara möjligt att nå målen med begränsade förändringar, exempelvis lätt realiserbara tekniska förbättringar, så är det antagligen inte fråga om något svårbemästrat samhällsproblem. Då behöver man heller inte gå vidare med de övriga stegen i backcasting-ansatsen.

I denna studie har vi testat möjligheterna att nå de uppsatta målen för utsläpp av växthusgaser och energianvändning om dagens utveckling av transportvolym, boendeyta, varukonsumtion etc., fortsätter. I det Teknikscenario som presenteras i slutet av kapitel 2 antar vi att en sådan ”låt-gå-utveckling” kombineras med kraftiga tekniska energieffektiviseringar (egentligen mer än måttliga) och att en betydande ökning av mängden koldioxidneutral primärenergi kommer till stånd. Teknikscenariot visar sig leda till en betydande minskning av utsläppen jämfört med år 2005, men att utsläppen ändå ligger långt över den uppsatta målnivån. Detta ger anledning att fortsätta med steg 3 backcastingansatsen.

## **3. Utarbetandet av framtidsbilder.**

En eller flera alternativa framtidsbilder som uppnår de i steg 1 uppställda kriterierna/målen utformas i en iterativ process.

Valen av framtidsbildernas karaktäristiska egenskaper är det kanske mest kritiska momentet i hela arbetsgången. Alla framtidsbilder utformas för att nå de uppsatta målen, men de ska givet detta vara så attraktiva som möjligt ur ett socialt och ekonomiskt perspektiv. Vad som är attraktivt skiljer sig dock åt beroende på vem man frågar, och detta är en orsak till att man eftersträvar att utforma flera framtidsbilder med olika karaktäristiska egenskaper. Ett annat skäl till detta, och som också kan styra valet av framtidsbilder, är om man ser någon mer eller mindre extern variabel som viktig för möjligheterna att nå det uppsatta målet. I denna studie har vi använt den globala tillgången på bioenergi och annan koldioxidneutral energi på ett sådant sätt. Den andra dimensionen som vi valt handlar om människors beteendemönster och hur de kan skilja sig åt med avseende på resande, konsumtion av varor respektive tjänster, värdering av fritid respektive konsumtionsutrymme etc. Dessa faktorer styr till stor del efterfrågan på energitjänster.

Rent praktiskt har genereringen av framtidsbilder skett i en iterativ process. Författarna har haft ett flertal kreativa arbetsmöten av ”brainstormingkaraktär”. Utkast till framtidsbilder har sedan testats på seminarier med deltagare med olika kompetens och erfarenhet, varav två stycken med referensgruppen, och sedan modifierats i ett par iterationer.

Det är viktigt att framtidsbilderna presenteras så att de kan diskuteras av olika aktörer, varigenom relevansen kan testas. De antaganden som ligger till grund för utformningen av framtidsbilderna bör vara genomskådliga, så att de kan utsättas för en kritisk diskussion. Framtidsbilderna utgör sedan underlag för steg 4.

#### **4. Analys av vägar till framtidsbilderna.**

Här analyseras hur man från dagens läge skulle kunna länka in utvecklingen mot de mål som satts upp. Det eventuella behovet av trendbrott lyfts fram liksom hur dessa kan stimuleras. Bredden av åtgärder och behovet av kombinationer av olika typer av åtgärder behandlas liksom "timingerna". Analysen är i huvudsak kvalitativ.

Av vissa uppfattas det som en viktig komponent i backcasting-metodiken att man ska peka ut en detaljerad väg mellan framtidsbilderna och dagens situation (ibland uttryckt som att man ska räkna baklänges från framtidsbilderna till dagens läge).

Detta stämmer inte med vårt sätt att använda backcasting eller vårt perspektiv på framtidsstudier i stort. Framtiden kommer alltid att bjuda på överraskningar. Ett viktigt syfte med backcasting är att identifiera och analysera viktiga vägval som vi står inför idag, d.v.s. situationer när man för en längre tid låser utvecklingen inom ett visst område. Som exempel kan nämnas att de vägar och järnvägar samt den bebyggelse som vi bygger de närmaste åren kommer att stå kvar år 2050 och de kan då antingen utgöra hinder för att nå klimatmålet eller bidra till dess lösning. En viktig enträkt i detta sammanhang är också en analys av hinder och möjligheter. En viktig del av analysen i detta steg består också i en reflektion kring hinder och möjligheter för förändring, d v s identifiering av trögheter och eventuellt pådrivande och möjliggörande faktorer. En del av dessa är uppenbara - för den omställning av kosten som diskuteras i scenario 2 och 4 är det i det närmaste självklart att både hälsoskäl, nya trender och marknadsfaktorer kan vara pådrivande faktorer. Andra hinder och möjligheter handlar mer om planeringens och politikens funktionssätt och logik, eller befintlig kunskap om styrmedel och annat sätt att påskynda beteendeförändringar. Här baseras resonemangen på befintlig forskning och teoribildning på respektive sakområde, d v s utgångspunkten är här forskning inom teknikhistoria, planering, statskunskap och sociologi.

I vissa fall tillämpas också ett fjärde steg där vägar till framtidsbilderna relateras till olika omvärldsfaktorer i syfte att hitta robusta åtgärds paket. I denna studie har detta steg delvis innefattats i och med att energitillförseln, som ju delvis är en extern faktor, valts som en särskiljande dimension mellan framtidsbilderna.

##### **1.4.1 Att integrera ett tekniskt, naturvetenskapligt och samhällsvetenskapligt perspektiv**

I denna studie använder vi i huvudsak en kombination av ett naturvetenskapligt och ett samhällsvetenskapligt perspektiv. Detta har historiskt sett inte varit särskilt vanligt.

Boken *Sol eller uran? - att välja energiframtid*, som publicerades 1978, var den första stora energistudien som använde ett tydligt framtidsinriktat anslag – med syfte att påvisa att det fanns olika vägar för att trygga det framtida energibehovet (Lönnroth m.fl., 1978). På senare år har ett flertal energiframtidsstudier genomförts på initiativ av IVA, NUTEK, Stiftelsen för strategisk forskning, Naturvårdsverket m fl. Några centrala exempel är Azar & Lindgren (1998), Banister m.fl., (2000), Goldenberg m.fl. (2000), Nakicenovic m.fl. (2001), IVA (2003), EEA (2005) och IEA (2006). Kommunikationsforskningsberedningen (KFB) finansierade också ett antal framtidsstudier på transportområdet på 1990-talet (Åkerman m.fl., 2000, Steen m.fl., 1997).

En kritik som har riktats mot merparten av befintliga framtidsstudier är att de ofta uppehåller sig vid de tekniska möjligheterna utan att på ett tillfredsställande sätt ta hänsyn till sociala och kulturella aspekter och processer, frågor om hur samhället fungerar, politikens och planeringens reella villkor, grundvalen för mänskligt agerande etc. (Naturvårdsverket, 2005). Om man går två-tre decennier tillbaka i tiden finns det undantag. Boken *Sol eller uran* från 1978 hade således en tydlig kombination av teknik, naturvetenskap och samhällsperspektiv. Även Kaiser, Mogren och Steens bok *Att ändra riktning - Villkor för ny energiteknik* från 1988, som fokuserar på frågor om makt och inflytande som förutsättningar för förändring, förmår kombinera dessa olika perspektiv. Den nyligen publicerade slutrapporten för det så kallade HUSUS-projektet (Gullberg m.fl., 2007), bör också nämnas i detta sammanhang. Där ingår ett tydligt samhälls- och vardagslivsperspektiv, sida vid sida med tekniska aspekter.

Bortsett från dessa undantag tycks dock de tekniska perspektiven dominera inom energiframtidsforskningen. Generellt är det idag ont om rent samhällsvetenskapliga framtidsstudier om energi och miljö. I Sverige finns sedan tidigt 1970-tal Institutet för framtidsstudier, som bedriver samhällsvetenskaplig framtidsforskning. Institutet för framtidsstudier har dock kommit att ägna sig huvudsakligen åt frågor om demografi, bosättningsmönster, arbetsliv, offentlig service etc. utan att uttryckligen koppla detta till frågor om energi, transporter och miljö. Ett undantag här är det pågående forskningsprojektet ”Regioner i förändring”, där en delstudie fokuserar framtidens bosättningsmönster som en grund för vägplanering. Härigenom tydliggörs potentialen för framtidsstudier som brygger över till frågor om energi, transporter och miljö.

Frånvaron av samhällsvetenskapliga framtidsstudier på energi- och transportområdet är inte endast ett svenskt fenomen. Liknande tendenser tycks råda även i den internationella forskningen. I tidskriften *Futures*, exempelvis, har de senaste åren publicerats ett mycket stort antal artiklar som på något sätt rör energi, transporter eller hållbar utveckling generellt. Av de som kan sägas vara regelrätta framtidsstudier, utgörs dock merparten relativt tekniskt inriktade scenariebeskrivningar. Dock kan konstateras att det i den internationella diskussionen finns gott om publicerade analyser av begrepp, perspektiv och policys. Dessa studier har inte alltid har ett

uttalat framtidsperspektiv i den meningen att de uppehåller sig vid framtidsbilder eller liknande, men de är självklart ändå relevanta för framtidsforskningen. Som exempel kan nämnas Hjort och Bagheri som diskuterar behovet och implikationerna av ett systemperspektiv (Hjorth & Bagheri 2006).

Bland artiklarna i tidskriften Futures utkristalliserar sig också ett policyforskningsfält. Inte heller detta kan sägas utgöras av tydliga framtidsstudier. Snarare består studierna i att identifiera och rekommenderar handlingsalternativ som ter sig mer eller mindre lämpliga för att understödja en utveckling mot en mer hållbar utveckling i mer generell bemärkelse. I denna fåra finns studier som uppehåller sig vid internationell politik (t ex Borgese, 1999; Hughes & Johnston, 2005; Sharma, 2007). Andra studier fokuserar den nationella arenan, där forskare genom fallstudier av olika politikområden – exempelvis jordbrukspolitik eller bostadspolitik – analyserar och identifierar policyinstrument och andra verktyg eller metoder som ter sig mer eller mindre fruktbara för att gynna en omställning till ett mer hållbart samhälle (se t ex Abernethy, 1994; Ahmad, 1992; Clark 2001). Ytterligare andra studier går in på individnivå, och diskuterar psykosociala faktorer. Här finns således flera beröringspunkter med samtida svensk samhällsvetenskaplig forskning om hållbar utveckling, där det under de senaste åren har publicerats analyser av socio-kulturella förutsättningar för förändring i de organisationer som har i uppdrag att implementera svensk policy för hållbar utveckling, t ex kommunal planering (Asplund & Hilding-Rydevik, 2001; Asplund & Skantze, 2005). I svensk samhällsvetenskaplig miljöforskning finns också gott om kritiska analyser av svensk energi-, miljö- och transportpolitik (Anshelm, 2000; Hedrén, 1994; Hedrén, 2002; Isaksson, 2001; Martinsson, 2002; Melin, 2000; Palm, 2004; Storbjörk, 2001; Soneryd, 2002; m.fl.). Ett nationellt samtida exempel Storbjörks (2007) studie av drivkrafter och hinder i kommuners klimatanpassningsarbete. Ingen av dessa studier är en framtidsstudie. Sannolikt har detta att göra med att det kunskapsperspektiv som dominerar inom dagens samhällsvetenskap är tydligt distanserat från det perspektiv som av tradition har genomsyrat och fortfarande påtagligt genomsyrar framtidsforskningen. De olika perspektiven diskuteras av bl.a. Wittrock (1980) och Asplund (1979).

Föreliggande studie har utformats utifrån en ambition att med ett tvärvetenskapligt angreppssätt försöka väva ihop ett naturvetenskapligt perspektiv på naturresurser och miljöpåverkan, ett tekniskt perspektiv och ett samhällsvetenskapligt perspektiv på framtid och förändring. Ambitionen har inneburit vissa utmaningar, inte minst eftersom olika perspektiv och forskningsriktningar i viss mån utgår från vitt skilda antaganden om hur samhället fungerar, hur tekniska lösningar kan genomföras på bred front, hur förändring kan åstadkommas i både politik, planering och beteenden etc. Ur ett samhällsvetenskapligt perspektiv framstår ofta teknik- och naturvetenskaperna som naiva i sin inställning kring samhället, policy-, planerings- och implementeringsprocesser. Ur ett tekniskt- eller naturvetenskapligt perspektiv ter sig samhällsvetenskapliga analyser ofta som onödigt problematiserande och till och med pessimistiska i sitt förhållningssätt till hur nya tekniska lösningar eller förändringar i stort skall kunna genomföras.

Att åstadkomma en tvärvetenskaplig integrering av olika perspektiv är inte enkelt. Dock kan klyftan inte endast förklaras av disciplinräns. Det kan lika mycket handla om vilket kunskapsperspektiv som anläggs och vilka grundantaganden som görs om människan och samhället. Generellt har samhällsvetenskapen, exempelvis stora delar av statsvetenskap, beteendevetenskap och sociologi, men även planeringsteori och organisations- och implementeringsforskning, under de senare två decennierna rört sig mot ett påtagligt socialkonstruktionistiskt och i viss mån relativistiskt perspektiv. Det har konkret inneburit ett tydligt avståndstagande från rationalistiska och behavioristiska perspektiv på politiskt beslutsfattande, planering och implementering och beslutsgenomförande, och ett allt tydligare intresse för att se såväl politiska beslutsprocesser, planering, implementering och vardagliga beteenden som komplexa sociala processer. Allt större uppmärksamhet fås på de meningssystem, språkliga och andra strukturer som ligger till grund för mänskligt agerande oavsett vilken nivå i beslutssystemet som fokuseras. Frågor om makt och intressekonflikter erkänns som en central del av både tolkningen och hanteringen av problem i samhället. En sådan förståelse av samhället ger en annan grund för att diskutera förändring än exempelvis vad en traditionell rationalistisk ansats skulle göra.

## 1.5 Systemavgränsning

Studien omfattar energi- och transportsystemets utsläpp av koldioxid samt flygets utsläpp av kväveoxider och vattenånga.<sup>1</sup> De utsläpp som direkt ingår i studien utgör ca 80 % av de totala svenska utsläppen.

Avgränsningen av det system som denna studie omfattar är i princip alla energirelaterade aktiviteter som utförs inom Sveriges gränser samt svenskars andel av internationella flyg- och sjötransporter. Flygresandet år 2000 utgår från en bearbetning av resvaneundersökningen RES gjord av Frändberg & Vilhelmson (2002) och omfattar den svenska befolkningens flygresande, oavsett var i världen det sker. Resandet är sedan framräknat till år 2005 genom att anta samma förändring som i antalet resenärer på svenska flygplatser mellan år 2000 och år 2005. Utlänningars resande i Sverige ingår inte. Godstransporter till sjöss och i luften utgår i princip från att import till Sverige ingår i systemet, eftersom den genereras av svenskars livsstil, medan export inte ingår. Dataunderlaget för sjöfarten baseras på mängd lossat gods från olika avsändarländer SIKA (2006 b) samt egna uppskattningar av transportavstånd. Detta leder till en relativt grov skattning av sjöfartens energianvändning och utsläpp av koldioxid. För flygfrakt antar vi att Sveriges globala andel är hälften stor som för passagerarflyget, d.v.s. hälften av 0,85 %. Både tillförsel och användning av energi ingår liksom de delar av industrins processutsläpp som består av koldioxid. Vi har gjort det förenklade antagandet att förändringar i volym och struktur på konsumtionen sker på ett likartat sätt i Sverige och i omvärlden.

---

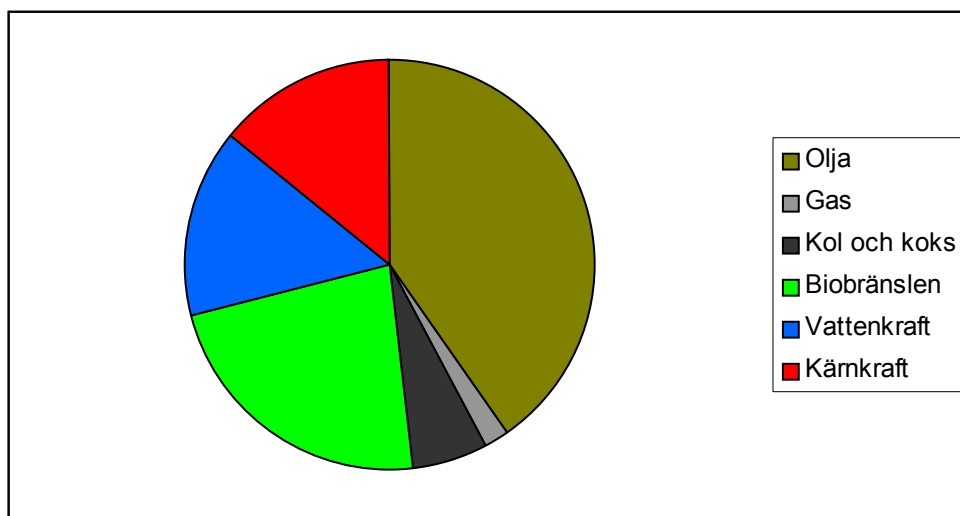
<sup>1</sup> En uppräkningsfaktor på 2,5 har använts för dessa utsläpp. Se motivering i avsnittet Transporter i kapitel 2

Detta innebär att omfattningen på den i Sverige förlagda produktionen antas variera med storleken på den svenska konsumtionen, även om det bara är en del av den svenska produktionen som faktiskt konsumeras i Sverige.

## 1.6 Energi- och transportsystemet och dess klimatpåverkan

### 1.6.1 Tillförsel och användning av energi samt utsläpp av växthusgaser

I detta avsnitt beskrivs kortfattat strukturen på dagens svenska energi- och transportsystem och dess utsläpp av växthusgaser. Energi- och transportsystemet består i stort av energitillförselsidan samt tre sektorer på användningssidan; transporter, industri och bebyggelse, service mm. Vi använder här den systemavgränsning som beskrevs i förra avsnittet vilket innebär att den avviker från officiell statistik som oftast inte räknar med internationell flyg- och sjöfart. I figur 1.1 visas energitillförsel för Sverige år 2005.



Figur 1.1: Fördelning av Sveriges energitillförsel år 2005 på olika energislag. Total energitillförsel var 467 TWh enligt den systemavgränsning som används i denna studie. Kärnkraften räknas exklusive värmeförluster. Källor: Energimyndigheten, 2006; SIK, 2006 b; Åkerman, 2005; Frändberg & Vilhelmson, 2002 samt egna beräkningar.

Utsläpp av växthusgaser i Sverige uppgick år 2005 till 67 miljoner ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter<sup>2</sup> enligt den officiella svenska klimatrapporeringen (Energimyndigheten/Naturvårdsverket (2007 b). Mellan 1990 och 2005 minskade utsläppen av växthusgaser med 7 %. Det är värt att notera att den officiella klimatrapporeringen enbart omfattar sådana utsläpp som ingår i Kyotoavtalet. Detta innebär att internationell flygtrafik och sjöfart som genererats av den svenska befolkningens konsumtion

<sup>2</sup> För att få ett gemensamt mått så räknas alla olika växthusgaser om till ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter (CO<sub>2</sub>-ekv eller CO<sub>2</sub>-e), dvs den mängd koldioxid som skulle ge samma strålningsdrivning (klimatpåverkan) under en viss tidsperiod, i detta fall 100 år.

inte alls ingår. Samtidigt hör dessa sektorer till de vars utsläpp växer allra snabbast och de kommer sannolikt att på något sätt innefattas i de avtal som kommer att efterträda Kyotoavtalet. På grund av detta har vi valt att inkludera dessa delar av transportsektorn i denna studie, även om dataunderlaget, i synnerhet för sjöfarten, är osäkert. Med den systemavgränsning som vi använder i denna rapport blir de totala utsläppen ca 78 miljoner ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter, vilket är 16 % högre än de utsläpp som omfattas av Kyotoavtalet. Fördelningen av utsläpp av växthusgaser på olika källor, enligt systemavgränsningen i denna studie, visas i tabell 1.1. De utsläpp som ligger i fokus i denna studie utgör ca 80 % av de totala utsläppen.

**Tabell 1.1: Svenska utsläpp av växthusgaser år 2005. Även utrikes flyg och sjöfart ingår. Källor: Energimyndigheten/Naturvårdsverket, 2007 b; Åkerman, 2005; Frändberg & Wilhelmson, 2002; Steen m.fl. 1997 samt kompletterande egna beräkningar**

	Utsläpp av växthusgaser 2005 (tusen ton CO <sub>2</sub> -e)	Andel 2005
<b>Koldioxid samt flygets övriga utsläpp</b>	<b>64 200</b>	<b>82%</b>
Varav:		
Transporter (inkl. utrikes flyg och sjöfart samt arbetsmaskiner)	35 000	45%
Industri (inkl raffinaderier)	17 400	22%
El och fjärrvärmeproduktion	8 400	11%
Bebyggelse, service mm	3 400	4%
<b>Metan, dikväveoxid och F-gaser</b>	<b>14 300</b>	<b>18%</b>
<b>Summa</b>	<b>78 500</b>	<b>100%</b>

### 1.6.2 Energisystemet – ett sociotekniskt system

Sveriges transport- och energisystem kan karakteriseras som ett sociotekniskt system. De renodlade tekniska komponenterna är uppenbara; såväl transporter som system för energiproduktion och – distribution består till stora delar av tekniska komponenter. Men dessa system är också intimt sammanlänkade med människors sätt att använda dem och transformera dem. Begreppet sociotekniskt system tydliggör detta.

Begreppet socio-tekniska system har utvecklats av bland andra den amerikanske forskaren Tomas P Hughes. I IVA:s rapport ”Energiframsyn Systemstudie” från 2002 diskuteras, med hänvisning till Hughes, framväxten och utvecklingen av tekniska system. Där omnämns ett antal begrepp från socioteknisk systemteori, exempelvis systembyggare – med vilket avses aktörer av central betydelse för det socio-tekniska systemets tillkomst, det kan vara entreprenörer, uppfinnare eller andra professionella aktörer. Reverse salients är ett annat centralt begrepp, med vilket avses ”sviktande fronter” – det handlar om frontavsnitt i det framväxande tekniska systemet där svårigheter finns eller där motståndet är starkt. Teknisk stil är ytterligare en kritisk faktor för ett sociotekniskt systems tillkomst och utveckling. Som Hughes visar i sin studie av elektrifieringen i Tyskland, USA och England finns det klara skillnader i teknisk stil mellan dessa länder (jämför IVA (2002) och Hughes

(1983)). Dessa begrepp riktar samtliga ljuset mot de tekniska systemens sociokulturella aspekter och är viktiga att beakta i forskning om energisystem.

Teknikhistorikern Mats Bladh konstaterar att Hughes teori om sociotekniska system riktar tydligt fokus mot produktionen, d v s själva utformningen och uppbyggnaden av ett sociotekniskt system (Bladh 2006). I Hughes forskning, som fokuserade elektrifieringen i USA och andra delar av västvärlden, var detta ett logiskt upplägg. I ett nutida svenskt energisammanhang är systembyggare, uppfinnare och entreprenörer givetvis också viktiga, inte minst då vi talar om utvecklingen av nya energitekniker. Även de som har till uppgift att underhålla och utveckla det existerande energisystemet spelar en viktig roll. Här konstaterar Bladh att Hughes teori om sociotekniska system har en stor poäng i det att den tydliggör frågan om vägval – valsituationer som i efterhand kan visa sig avgörande för systemets fortsatta utveckling. Oavsett om man tänker på en uppfinningsituation eller på en mer renodlad underhållssituation, så finns det alltid viktiga vägval att göra (Bladh 2006, med referens till Hughes 1987). Ibland är vägvalen reflekterade, ibland är de oreflekterade. Dessa vägval görs ibland av strikt tekniska skäl, men har lika gärna att göra med kulturella skillnader som genomsyrar de sociotekniska systemen. Det kan handla om vilken teknisk stil som har etablerats, vilken sorts skala eller design som systembyggare och användare har skolats in i, och som de ser som naturlig eller självklar. Vägvalen framstår inte alltid som särskilt avgörande då de görs, men kan i efterhand visa sig ha mycket stor betydelse. Detta är en av de saker som vi kommer att återkomma till senare i denna rapport.

En av de invändningar som kan riktas mot Hughes teori om stora tekniska system, är att den tydliga fokuseringen av produktionsaspekter ger en något ensidig bild av ett sociotekniskt systems framväxt. När det gäller nuvarande och framtida energi- och transportsystem framstår exempelvis frågan om systemens användning, det vill säga människors energikonsumtion och upplevda eller faktiska behov som minst lika relevant. Människors sätt att använda existerande tekniska system är en viktig aspekt både av de eventuella problem som uppstår, och som en input till systembyggare att utveckla nya lösningar. Bladh (2006) konstaterar att Hughes vägval är problematisk. Dock kan det förklaras av att han sannolikt har utgått från en tämligen strikt gränsdragning mellan system och dess omgivning.

Den systemavgränsning som görs i föreliggande studie omfattar både energitillförsel (produktionsperspektiv) och energianvändning (konsumtionsperspektiv). Gränsen mellan systemet och dess omgivning är med denna avgränsning inte helt klar, vilket inte minst beror på att snart sagt alla aktiviteter i samhället förutsätter någon form av energianvändning. I denna studie prioriterar vi således att kunna analysera kopplingarna mellan tillförsel och användning av energi framför att ha en glasklar systemavgränsning.

## 1.7 Målnivåer för växthusgaser

År 2000 uppgick de globala utsläppen av växthusgaser till 34 miljarder ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter (exkl. avskogning etc.), d.v.s. ca 5,5 ton per person (Stern, 2006). Detta kan jämföras med de svenska utsläppen på ca 8,6 ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per person (7,4 ton exkl. utrikes flyg och sjöfart).

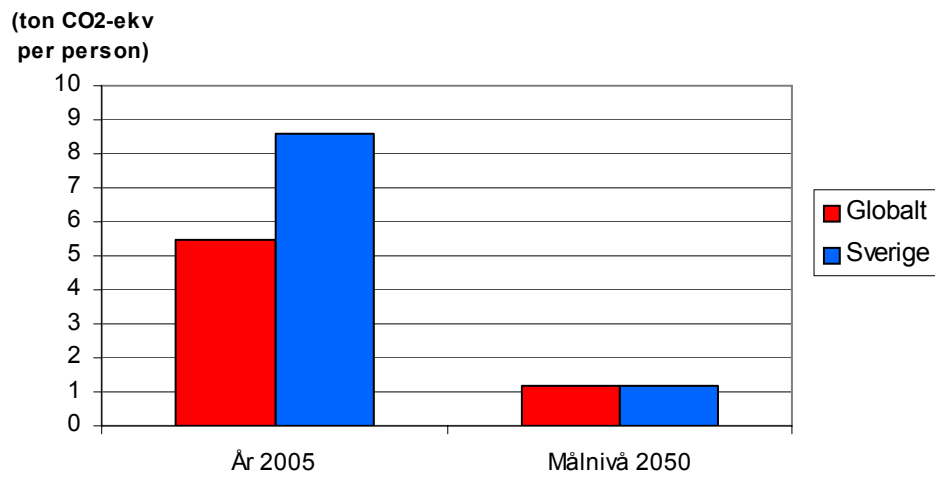
I denna studie utgår vi ifrån EUs och Sveriges målsättning att jordens medeltemperatur inte ska öka med mer än två grader i förhållande till förindustriell tid. Enligt Stern (2006) och EEA (2005) innebär en 70 % minskning av de globala utsläppen fram till år 2050 jämfört med år 2000 att man kan stabilisera halten CO<sub>2</sub>-ekvivalenter på 450 ppm, vilket skulle innebära att sannolikheten att hålla tvågradersmålet är 50 %. Vetenskapliga rådet för klimatfrågor (Miljövärdsberedningen, 2007) gör en liknande bedömning. Man säger att det globalt skulle krävas en 70 % minskning av utsläppen för att temperaturökningen *sannolikt* ska begränsas till två grader.<sup>3</sup> Vi utgår i denna studie från att det krävs en 70 % minskning av de globala utsläppen av växthusgaser till år 2050. Om jordens befolkning år 2050 uppgår till 9 miljarder människor, så innebär det ett utsläppsutrymme på i genomsnitt 1,15 ton CO<sub>2</sub>-ekv per världsinvånare.

Med detta som utgångspunkt blir frågan vilket utsläppsmål som är rimligt för det svenska energi- och transportsystemet, såsom det avgränsas i denna studie. Vi antar att Sveriges totala utsläpp per capita år 2050 får uppgå till maximalt 1,15 ton CO<sub>2</sub>-ekv per invånare, d.v.s. samma nivå som den globala målnivån. Detta innebär att det krävs en minskning av de svenska utsläppen per person med 87 %. Eftersom Sveriges befolkning beräknas öka från 9,1 miljoner till 10,5 miljoner år 2050 (SCB, 2006 c), så är detta liktydigt med en minskning av Sveriges totala utsläpp med 85 %. Det svenska energi- och klimatsystemet står idag för 80 % av de totala utsläppen av växthusgaser. Med antagandet att övriga utsläpp, främst lustgas från gödselhantering, metan från kor och metan från deponier, kan minskas i samma grad, så blir målnivån för energi- och transportsystemet 0,92 ton CO<sub>2</sub>-ekv per person. Alla framtidsbilder för år 2050 som presenteras i kapitel 3 är utformade för att nå det här beskrivna utsläppsmålet för energi- och transportsystemet. Energianvändningen per capita varierar dock mellan scenarierna (se avsnittet Tillförsel av energi i scenarierna år 2050).

I figur 1.2 visas hur målnivåerna (totala utsläpp) för scenarierna i denna rapport förhåller sig till dagens utsläpp.

---

<sup>3</sup> Enligt rådet krävs det på lång sikt (2150) en stabilisering på 400 ppmv CO<sub>2</sub>-ekv för att tvågradersmålet ska hållas.



Figur 1.2: De målnivåer för utsläpp av växthusgaser år 2050 som används i denna studie jämfört med år 2005. Utsläpp exklusive förändrad landanvändning.

## 2 Utgångspunkter för scenarierna

I detta kapitel görs dels en beskrivning av nuläget i det svenska energisystemets delar, och dels en analys av potentialen för energitillförsel och teknikeffektiviseringar i energianvändningen år 2050. I anslutning till detta presenterar vi även ett så kallat Teknikscenari. Detta illustrerar en utveckling där bästa möjliga teknik antas vara införd och tillförseln av koldioxidneutral energi ökat väsentligt, men där inga åtgärder vidtagits för att påverka volymutvecklingen vad gäller varukonsumtion, resor och boyta.

### 2.1 Potential för bioenergi

Biomassa ger redan idag ett betydelsefullt bidrag till världens energiförsörjning. Biomassan ger omkring 14 PWh om året, vilket motsvarar drygt 10 % av världens tillförsel av primärenergi (IEA, 2006). Störst är användningen av bioenergi i utvecklingsländerna, där den främst används på traditionellt sätt i form av brännved vid matlagning och för uppvärmning. I industriländerna står bioenergin endast för tre procent av energianvändningen. Totalt i världen beräknas modern användning av biomassa, för produktion av el, ånga och biobränslen, ge ca 1,9 PWh om året (Turkenberg, 2000).

Jämfört med andra industriländer har Sverige en stor andel bioenergi i sin energimix. Under 2005 stod bioenergi, inklusive torv och avfall, för 112 TWh, vilket motsvarar 17 % av den totala energianvändningen i Sverige (Energimyndigheten, 2006 a). Bioenergin utgörs till allra största delen av skogsbränslen. År 2001 kom 50 TWh från träbränsle och 34,5 TWh från returlutar. Dessutom kom 7,8 TWh från avfall, 3,5 TWh från torv, 2,8 TWh från övrigt och 0,5 TWh från agrara bränslen (Svebio, 2003). Det mesta av biobränslet är inhemskt producerat, men det förekommer även en viss import.

Hur mycket bioenergi som kan finnas tillgänglig framgent är osäkert, eftersom det beror på en rad svårbedömda faktorer. Flera försök att uppskatta den framtida potentialen har gjorts både globalt och för Sverige. De redovisade potentialerna uppvisar stora variationer beroende på vilka antaganden som görs.

#### 2.1.1 Global potential

Ser man bara till den totala mängden biomassa som produceras på jorden under ett år, så verkar det inte vara några problem att täcka människans behov av energi med energi från biomassa. Nettoprimärproduktionen<sup>4</sup> på land<sup>5</sup> har uppskattats motsvara 633 PWh/år (IPCC 2001 a). Av denna använder vi människor idag ca 12 %, varav

<sup>4</sup> Definierad som mängden koldioxid som omvandlas till kolhydrater under fotosyntesen (bruttoprimärproduktionen) minus den mängd som förloras genom respiration och nedbrytning.

<sup>5</sup> Teoretiskt sett skulle man även kunna utvinna biomassa från haven, men hur det skulle gå till och hur mycket det skulle kunna ge är oklart.

motsvarande 59 PWh/år för produktion av mat, 8 PWh/år i form av trä för industriändamål (inkl. virke, massa och papper) och 9 PWh/år för traditionell bioenergi (Smeets m.fl., 2007). Ungefär tre fjärdedelar av denna omsättning förloras som spill under produktionen.

I praktiken begränsas dock uttaget av biomassa för energiändamål av flera olika orsaker, vilka kommer att diskuteras i detta avsnitt. Berndes m.fl. (2003) har gjort en genomgång av 17 olika studier av den globala potentialen för bioenergi. I de flesta av studierna anses dedicerade odlingar av biomassa på jordbruksmark vara den viktigaste källan. I vissa fall för att andra källor inte beaktats, men även i mera kompletta studier visar sig odling kunna ge det största bidraget. Detta stämmer också med resultaten från de tre potentialstudier som visas i tabell 2.1 (Smeets m.fl., 2007, Hoogwijk m.fl., 2003 och Wolf m.fl., 2003).

**Tabell 2.1: Globala potentialer för primär energi från biomassa år 2050. Notera att studierna delvis täcker in olika resurskategorier.**

Studie	Global potential för biomassa 2050 (PWh/år)
Smeets m.fl., 2007	97-408
Hoogwijk, m.fl. 2003	9-314
Wolf m.fl., 2003	45-180

Mer än en tredjedel av Jordens yta används idag som jordbruksmark, framför allt för produktion av livsmedel.<sup>6</sup> Att tillgodose världens befolkning med tillräckligt med mat anses allmänt vara ett överordnat mål. Hur efterfrågan på livsmedel ser ut och hur det produceras blir därför av avgörande betydelse för hur mycket mark som blir över för odling av energigrödor.

En viktig faktor är befolkningsutvecklingen. Enligt FNs prognoser kommer världen att ha en befolkning på mellan 7,8 och 10,8 miljarder personer år 2050 jämfört med 6,8 miljarder år 2007 (FN 2007). Enligt de studier vi refererar till i tabell 2.1 så spelar dock befolkningsmängden mindre roll för behovet av jordbruksmark än vilken diet som konsumeras och med vilken intensitet jordbruket bedrivs. Detta visas i tabell 2.2, som baseras på uppgifter från Hoogwijk m.fl. (2003).

<sup>6</sup> Av den totala markytan på 13 Gha används ca 5,0 Gha som jordbruksmark (1,51 Gha åker och 3,43 Gha bete), 3,9 Gha är täckt av skog och 4,1 Gha utgörs av olika naturtyper som savanner, tundra, buskland och öknar, samt av bebyggda ytor (Wolf mfl 2003, med hänvisning till FAO 1998).

**Tabell 2.2: Andelen jordbruksmark år 2050 som blir tillgänglig för andra ändamål när behovet av mat är tillgodosett med olika antaganden om diet, intensitet i jordbruket och global befolkningsmängd. Befolkningsmängderna är hämtade från IPCC (2000). En säkerhetsfaktor på 2 tillämpas för att kompensera bland annat för icke optimal matchning av tillgång och efterfrågan på mat, ojämnt skördeutfall mellan olika år samt spill. Dieten ”mycket animalier” motsvarar den nuvarande västerländska dieten. Källa: Hoogwijk m.fl., 2003.**

Diet	Vegetarisk			Lite animalier			Mycket animalier		
	8,7	9,4	11,3	8,7	9,4	11,3	8,7	9,4	11,3
Befolkningsstorlek 10 <sup>9</sup> personer									
<b>Höginsatsjordbruk</b>									
Kvot global livsmedelsprod./globalt livsmedelsbehov	7,7	7,1	5,9	4,2	3,9	3,2	2,4	2,2	1,8
Andel av jordbruksmarken som inte behövs för livsmedelsproduktion	74 %	72 %	66 %	52 %	48 %	38 %	16 %	9 %	0 %
Energiinnehåll i biomassa som produceras på den överflödiga jordbruksmarken i PWh. Produktivitet: 20 ton/ha	391	380	348	274	253	201	84	53	-
<b>Låginsatsjordbruk</b>									
Kvot global livsmedelsprod./globalt livsmedelsbehov	2,7	2,5	2,1	1,5	1,3	1,1	0,8	0,8	0,6
Andel av jordbruksmarken som inte behövs för livsmedelsproduktion	26 %	20 %	3 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Energiinnehåll i biomassa som produceras på den överflödiga jordbruksmarken i PWh. Produktivitet: 10 ton/ha	69	53	11	-	-	-	-	-	-

Att producera kött- och mejeriprodukter är mycket mer energikrävande och därmed också ytkrävande än att producera vegetabilier. I studien av Hoogwijk m.fl. antas att effektiviteten i omvandlingen av gräs och spannmål till mejeriprodukter är 33 % och till kött 11 %.<sup>7</sup> I studien av Smeets m.fl. beräknas direkt konsumtion av växtprodukter att öka med 16 % och animalieprodukter med 38 % mellan åren 1998 och 2050. Redan idag används mer än 70 % av jordbruksmarken för animalieproduktion (Smeets m.fl., 2007, med hänvisning till FAO, 2003).

Med ett intensivt, industrialiserat jordbruk av den typ vi har i västvärlden idag, spritt till hela världen, finns stora möjligheter till bioenergiproduktion, även sedan livsmedelsbehovet har tillgodosetts. Detta kräver dock stora insatser i form av bland annat bevattning, handelsgödsel, kemiska bekämpningsmedel, antibiotika, förädling och husdjursavel. Detta kan i sin tur föra med sig negativa konsekvenser, exempelvis i form av utsläpp av näringsämnen och toxiner, samt resistens hos olika växt- och djursjukdomar.

<sup>7</sup> Enligt Smeets mfl (2007) varierar behovet av foder för att få fram ett kilo animalieprodukt idag från 3 kg biomassa (torrvikt) för kycklingkött i ett tekniskt avancerat och industrialiserat produktionssystem till över 100 kg biomassa (torrvikt) för nötkött i ett tekniskt sett enkelt betessystem .

I det låginsatsalternativ som används i modellen som Hoogwijk m.fl. (2003) och Wolf m.fl. (2003) utgår ifrån (beskriven av Luijten 1995) satsar man på en mer försiktig hållning som liknar dagens ekologiska lantbruk. Här används inga kemiska gödsel- och bekämpningsmedel. Gödsling sker genom biologisk kvävefixering och återföring av djurgödsel och växtrester. Kalium- och fosfortillgången anses optimalt tillgodosedd, men produktionen begränsas av tillgången på kväve. Herbicider ersätts av mekanisk ogräsrensning och växt- och djursjukdomar kontrolleras genom förebyggande åtgärder. Denna typ av jordbruk ger en avkastning räknat som spannmålsekvivalenter på ungefär samma nivå som idag i medeltal för världen. Med en säkerhetsfaktor på 2, för att kompensera för bland annat ickeoptimal matchning av tillgång och efterfrågan på mat, ojämnt skördeutfall mellan olika år, samt spill, skulle en tillräcklig livsmedelssäkerhet bara kunna upprätthållas med ett sådant låginsatsjordbruk om den dominerande dieten är vegetarisk.

Vatten är en begränsande faktor i båda systemen i de fall där bevattning inte är möjlig. Bevattning används där det anses behövas och är möjligt. Det innebär att 50 % av ytan är bevattnad mot ca 18 % i dagens jordbruk.

Den produktivitet som förutsätts i höginsatsjordbruket är mycket hög. Visserligen ligger den västeuropeiska och nordamerikanska genomsnittsavkastningen redan nära nog i nivå med den avkastning som modelleras för ett regnförsörjt höginsatsjordbruk. Avkastningen från det bevattnade höginsatsjordbruket ligger emellertid ca tre gånger högre. Hoogwijk m.fl. är själva skeptiska till att dessa nivåer, som representerar bästa tillgängliga teknik tillämpad över hela världen, kommer att hinna uppnås till 2050. Det skulle i så fall kräva en omfattande omställning av jordbruket. Bland annat skulle effektiviteten framför allt i odling och i uppfödning av nötboskap i många utvecklingsländer behöva höjas avsevärt. Liknande invändningar har framförts av bland andra Gilland (2002) som hävdar att all jordbruksmark kommer att behövas för att ge en acceptabel diet till hela världens befolkning i framtiden. Han menar bland annat att särskilt barn behöver protein från animalier för sin utveckling och att det är osannolikt att de får det om inte även de vuxna kan äta kött. Han anser att ett dagligt intag av 40 g animaliskt protein per person skulle vara adekvat. För att detta ska kunna säkerställas krävs att befolkningen inte ökar allt för mycket och att effektiviteten i jordbruket kan höjas bland annat med hjälp av odling av högavkastande sorter, förbättrad gödsling och ökad bevattning. Något utrymme för annat än matproduktion på jordbruksmarken kommer knappast att finnas.

Även i studien av Smeets m.fl. (2007) antas en hög effektivitet i odlingen. För att nå maxpotentialen på 353 PWh från odling på jordbruksmark krävs att bästa tillgängliga teknik, som exempelvis GMO, används fullt ut. För att realisera den lägre potentialen på 60 PWh från odling på jordbruksmark antas jordbruket vara helt regnförsörjt och bästa teknik, motsvarande den som används i Västeuropa och Nordamerika idag, användas på de bästa jordarna. Lägre intensitet och mindre

insatsvaror som konstgödsel och bekämpningsmedel antas användas på de sämre jordarna.

Ett högintensivt jordbruk är också energiintensivt, exempelvis genom användning av konstgödsel, en höggradig mekanisering, samt långväga transporter av foder och livsmedel (Byström och Einarsson, 2006). Det gör att man kan tvivla på om det skulle vara möjligt att bedriva ett sådant jordbruk på stora delar av världens jordbruksmarker i en framtid när det inte längre finns tillgång till billig energi från fossila bränslen. De studier som refereras här tar inte explicit hänsyn till vad som händer med jordbruket i en sådan situation.

En annan viktig faktor är möjligheten och viljan att ta ny mark i anspråk. I studien av Hoogwijk m.fl. (2003) räknar man bara med den jordbruksmark som finns idag, d.v.s. ca 5 Gha, uppdelad på 1,5 Gha åkermark och 3,5 Gha betesmark. I studien av Luijten (1995) som refereras av Wolf m.fl. (2003) görs en uppskattning, baserad på jordmån, jorddjup, mm av hur mycket mark som teoretiskt sett skulle kunna göras tillgänglig för jordbruksproduktion. De kommer fram till att 3,8 Gha skulle kunna användas som åkermark och 3,98 Gha som betesmark. I studien av Wolf m.fl. räknar man dels med att hela denna yta tas i anspråk för produktion av mat och energigrödor och dels med att dagens 5 G-ha används, men att den betesmark som skulle gå att odla upp används som åker. Åkermarken skulle då uppgå till 2,4 G-ha. Om den maximala ytan togs i anspråk skulle det dock innebära omfattande ingrepp i olika naturmiljöer. Exempelvis skulle stora arealer skog, savanner och annan naturmark försvinna, vilket i sin tur sannolikt skulle medföra stora förluster av biologisk mångfald. Redan idag försvinner ca 15 miljoner hektar tropisk skog varje år som till stor del används som åker eller bete (Byström och Einarsson, 2006). Den snabba expansionen av jordbruksmark tillsammans med omvandlingen från ett kretsloppsjordbruk till ett industriellt jordbruk baserat på fossilenergi är enligt Byström och Einarsson en av huvudorsakerna till att biologisk mångfald nu förloras i en ökande takt.

Påverkan på jordbruksproduktionen av klimatförändringar har inte tagits med i beräkningarna i någon av de tre studierna. Detta motiveras med att påverkan är liten jämfört med den potentiella avkastningsökningen som skisseras (Smekets m.fl., 2007). Även om effekterna kan vara kännbara på lokal nivå, så påverkar det inte det globala resultatet så mycket. Smeets m.fl. hänvisar till en studie av Parry m.fl. (1999) där spannmålsavkastningen sägs ändras med mellan -5 % och +2,5 % år 2050 med klimatförändringar, jämfört med en situation utan klimatförändringar.

Hur tillgången på vatten skulle kunna påverkas av en storskalig satsning på odling av energigrödor diskuteras av Berndes (2002). Han konstaterar att det skulle kunna leda till en betydande ökning av evapotranspirationen,<sup>8</sup> vilket i sin tur kan leda till en förvärrad situation om odlingen sker i områden där det är ont om vatten. Med en

---

<sup>8</sup> Evapotranspirationen är det vatten som avgår till atmosfären genom växternas transpiration plus avdunstningen från marken och växternas bladverk.

ökad evapotranspiration minskar nybildningen av grundvatten. Även ytavrinningen kan minska, vilket påverkar vattentillgången i områden nedströms odlingen. En ännu större påverkan erhålls naturligtvis om odlingen bevattnas.

I områden där man har problem med en förhöjd grundvattenyta och försaltning av jorden till följd av överbevattning kan man dock få en positiv effekt av att byta ut ettåriga jordbruksgrödor mot fleråriga trädartade energigrödor. Dessa har ett djupare rotsystem och större bladyta, vilket leder till en ökad evapotranspiration.

Berndes framhåller också fördelarna med att byta ettåriga grödor mot fleråriga energigräs eller trädartade energigrödor (som Salix, Poppel och Eukalyptus). Dessa kan vara minskad erosion, minskat kväveläckage och förbättrad jordkvalitet. Energigrödorna kan även användas för rening av avloppsvatten. Hur dessa fördelar kan utnyttjas i det svenska jordbruket har analyserats av Börjesson (1999 a och b).

Tillgången på vatten för jordbruksproduktion, framför allt med avseende på livsmedelsproduktion diskuteras också av Falkemark och Rockström (2006). De konstaterar det regnförsörjda jordbruket har stora potentialer att öka produktiviteten även i regnfattiga savannområden. Det ständigt ökade behovet av mat i vattenfattiga områden till följd av befolkningsökningen kan dock enligt dem behöva mötas med en ökad produktion i de vattenrika regionerna, det vill säga i den tempererade zonen där i-länderna befinner sig. De påpekar att tropiska energigrödor för etanolframställning, framför allt sockerrör men även palmolja, har ett energiutbyte som vida överstiger det hos de tempererade energigrödor som kan odlas t.ex. i Sverige. Detta tack vare tropiskt anpassade växtfysiologiska egenskaper hos dessa grödor. Denna fördel gäller inte i samma utsträckning för den tropiska spannmålen som majs, durra och hirs. Jämfört med majs som är den bäst avkastande av dessa så är medelavkastningen på spannmål från tempererade områden i genomsnitt två till tre gånger högre. Falkemark och Rockström föreslår därför att ett ökat handelsutbyte av biobränslen och mat borde kunna äga rum mellan tropiska och tempererade länder där man drar nytta av dessa komparativa fördelar.

Studier av fysiska och tekniska potentialer bygger i allmänhet på att livsmedelsbehovet tillgodoses först och att odling av biomassa för energiändamål sedan sker på den mark som blir över. I verkligheten är det ju inte så enkelt. Med stigande energipriser är det mycket möjligt att odling av energigrödor kan komma att konkurrera med livsmedelsproduktionen. Detta skulle i så fall leda till höjda livsmedelspriser och hotad livsmedelssäkerhet för världens fattiga befolkning.<sup>9</sup> Ofta brukar man också fördela de bästa jordarna till livsmedelsproduktionen och låta bioenergiodlingen ske på de lite sämre jordarna, men i ett framtidsperspektiv med höga energipriser är det inte säkert att så blir fallet. Om odlingen t ex sköts av stora bolag är det mer sannolikt att bättre jordar som kan ge högre avkastning köps upp och används (Azar och Larson 2000).

---

<sup>9</sup> Detta sker redan idag. Priset på majs producerad i USA har stigit till följd av ökad efterfrågan på etanol gjord på majs. Detta har lett till brist på majs i Mexico som tidigare har importerat majs från USA.

Försämrad och övergiven jordbruksmark framhålls ibland som en betydande resurs där det skulle gå att odla energigrödor. I sammanställningen av Hoogwijk m.fl. (2003) beräknas sådan odling kunna ge motsvarande 0,6-31 PWh per år. Vad som ibland glöms bort i det sammanhanget är att den marken sällan är helt outnyttjad, utan att fattiga, egendomslösa människor kan vara beroende av att odla där för sin överlevnad (Azar och Larsson, 2000, med hänvisning till Carrere och Lohmann, 1996).

Även biomassa från skogen kan, enligt de studier som Berndes m.fl. (2003), går igenom, ge ett stort bidrag till energiförsörjningen. Med avseende på hur mycket, skiljer sig studierna mycket åt. En huvudanledning till detta är att biomassetillgången i vissa av studierna bara tar med potentialen från restprodukter från avverkning för andra ändamål och då baseras på flöden inom skogsindustrin av sågtimmer, skivor, papper, mm, medan man i andra studier inte har den restriktionen. Den potential som redovisas av Smeets m.fl. (2007) får anses var väl tilltagen. Här tas hela den årliga tillväxten i världens skogar i anspråk, med undantag endast för naturreservat och ytor som är oåtkomliga för skogsbruk. Detta skulle enligt deras beräkningar ge motsvarande 29 PWh per år. Smeets m.fl. konstaterar att ett sådant uttag skulle innebära en dramatisk ökning jämfört med dagens skogsbruk. Vad det skulle få för konsekvenser för den biologiska mångfalden är okänt, men enligt Smeets m.fl. skulle de förmodligen inte vara acceptabla.

Från både jord- och skogsbruket produceras olika rest- och avfallsprodukter som kan användas för energiutvinning. Hur stora dessa flöden är bestäms av vad och hur mycket som produceras, samt av vilka produktionsmetoder som används. Hur mycket av detta som kan göras tillgängligt för energiändamål påverkas av efterfrågan för annan användning, t ex som foder, jordförbättringsmedel o.s.v., samt av hur mycket av dessa restprodukter som är praktiskt möjligt att samla in och omhänderta.

Man kan i en framtid tänka sig en ökad användning av material som tillverkas med biomassa som råvara. Fossil olja skulle kunna ersättas av vegetabilisk, exempelvis vid tillverkning av plaster. Detta skulle kunna leda till ökad konkurrens om biomassan och att tillgången på bioenergi därmed blir mindre. Biomassa för produktion av biomaterial kan komma både från odlingar och från skogen. Hoogwijk m.fl. (2003) antar att efterfrågan på biomaterial kan komma att motsvara upp till 32 PWh år 2050. Då ingår sågverkstimmer, träskivor, råvara till pappers- och massaindustrin, bomull, gummi, samt råvara till den petrokemiska industrin.

Beredes m.fl. (2003) konstaterar att en samstämmig bild från de olika studierna är att det finns en stor fysisk potential globalt sett att producera biobränslen. Det som nu skulle behövas är studier av vad en storskalig satsning på bioenergi faktiskt skulle föra med sig för tillgången på mat för fattiga människor och för miljöpåverkan, inklusive jordskydd, erosionskydd, vattenhushållning och biologisk mångfald. Detta är något som de efterföljande studierna som vi refererar till här också instämmer i.

På grund av den stora osäkerhet som råder om hur mycket biomassa som kan användas för energiändamål utan allvarliga bieffekter, har vi valt denna dimension som en mer eller mindre extern variabel i scenarierna i kapitel tre. Vi använder där två nivåer, en lägre nivå på 25 PWh (dock högre än dagens 14 PWh) och en högre nivå på 80 PWh.

### **2.1.2 Svensk potential**

I Sverige finns den största potentialen för bioenergi i skogen. I dagsläget är det mest biprodukter i form av spån, flis och bark från industrin, avverkningsrester (grenar och toppar, s.k. GYROT), massaindustrins avlutar samt spillved som utnyttjas för energiändamål. I Skogsutredningen från 2006 (SOU 2006:81) konstaterar man dock, baserat på en underlagsrapport från SLU (2004), att med en annorlunda prisbild skulle även andra sortiment kunna komma ifråga för energiutvinning. Man säger att det till och med skulle kunna gå så långt att det samlade skogsuttaget går till energi, eller inget alls, beroende på hur prisbilden utvecklas.

LRF skogsägarna anger 115-135 TWh per år som potential till 2020 för skogsbränsle inklusive massaindustrins lutar (se tabell 2.3) (LRF, 2005). Trädbränsleuttaget bedöms då kunna öka med 17-30 TWh fram till 2010 jämfört med år 2002, beroende på hur priset på klen massaved utvecklas. Den totala avverkningen från 2010 och framåt bedöms kunna öka med 10-15 % jämfört med 2003-2004. Om industrin därmed ökar sin råvaruförbrukning beräknas det kunna ge ett ökat utbud av trädbränsle i form av biprodukter från skogsbruket och industriprocesser motsvarande 5 TWh. Den ökade förbränningen av massaindustrins lutar beräknas ge ytterligare 5 TWh. Dessa siffror baserar sig på dagens teknik och metoder och man framhåller att med förbättrade metoder och teknik skulle större kvantiteter kunna tas ut.

**Tabell 2.3: Potentialer för bioenergi enligt LRF:s energiscenario till år 2020. Källa: LRF, 2005.**

	2002 (TWh)	2010 (TWh)	2020 (TWh)
Skogen och skogsindustrin inkl massaindustrins lutar	89	105-120	115-130
<i>GROT inkl. långa toppar</i>	8	20-26	
<i>Stamved från vedhuggning</i>	10	12-17	
<i>Utsortering av rötved mm</i>	?	3-5	
<i>Skogsbrukets och industrins biprodukter</i>	38		43
<i>Massaindustrins returutar</i>	35		40
Jordbruket och livsmedelsindustrin	1	5	23
<i>Halm</i>			7
<i>Biogasråvaror inkl. livsmedelsindustrin</i>			4
<i>Salix</i>			4
<i>Bränslekärna, rörlan, hampa, mm</i>			2
<i>Etanol från spannmål och betor</i>			5
<i>Raps till RME</i>			1
Avfall, exkl. returträ och biogasråvara	5	10	15
Torv	3	6	10
Summa	98	126-141	163-178

Peter Hagström gör i sin avhandling en uppskattning av potentialen för biomassa i Sverige, baserad på en litteraturgenomgång (se tabell 2.4) (Hagström 2006). Med utgångspunkt från Lönner m.fl. (1998) och VMR (2004), uppskattar han potentialen för energi från skogsbränsle till 158 TWh/år inklusive massaindustrins lutar.

**Tabell 2.4: Potential för bioenergi från skogsbruk, jordbruk och avfall (Hagström 2006).**

Resurs	TWh	Källa
<i>Skogsbruk och trä från icke-skogsmark</i>	87,4	<i>Lönner et al. (1998)</i>
Avverkningsrester från slutavverkning	44,0	
Avverkningsrester från gallring	13,1	
Träd från tidig gallring	12,4	
Avverkning för bränsleuttag (hushållsnivå)	9,3	
Trädbränsle från industriell avverkning	5,8	
Trädbränsle från icke-skogsmark	2,8	
<i>Skogsindustrins biprodukter</i>	70,4	<i>VMR (2004)</i>
Träflis	3,3	
Sågspån	8,8	
Bark	14,7	
Svartlut	43,6	
<i>Jordbruk</i>	26,8	<i>Tillgång på mark för odling av energigrödor (Börjesson m.fl. 1997)</i>
Salix	12,5	Avkastning från Salix (STEM 2003b)
Rörflen	3,9	Avkastning från rörflen (Olsson et al. 2001)
Halm	10,4	Börjesson et al. 1997
<i>Avfall</i>	4,4	<i>Biobränslekommissionen (1992)</i>
Bygg- och rivningsavfall	4,4	
<b>Summa</b>	<b>188,9</b>	

Kommissionen mot oljeberoende (2006) har med underlag från Energimyndigheten, Jordbruksverket, Skogsstyrelsen, LRF, SVEBIO, SLU, Skogsindustrierna, m.fl. gjort en sammanställning, dels av hur stora arealer som skulle kunna användas för bioenergiproduktion och dels av hur mycket energi detta skulle kunna ge 2020 och 2050 (tabell 2.5). Potentialen från skogen skulle enligt denna sammanställning vara 127 TWh/år 2020 och 157 TWh/år 2050, inklusive massaindustrins lutar. Då räknar man med att det skulle gå att få ut 30 TWh primärt bränsle per år, utöver vad som produceras idag, genom förbättrad skogsvård och 27 TWh/år genom att 5 % av ytan används för intensivodling av gallringsfri gran med en omloppstid på 45 år. Detta är med god marginal den mest optimistiska uppskattningen av biobränslepotential av de vi inventerat.

**Tabell 2.5: Uppskattning av potentialen för tillförsel av biobränslen år 2020 och år 2050 från Kommissionen mot oljeberoende (2006).**

Tillförsel brutto	2005 TWh	2020 TWh	2050 TWh
Brännved, GROT, stubbar	20	40	52
Industrins biprodukter för avsalu	16	22	35
Industrins biprodukter för intern användning	19	20	25
Avlutar, mm	44	45	45
Avfall, tallbäck, torv, rivningsvirke, mm	8	15	31
Åkerbränslen (inkl. restprodukter och energived)	1	10	32
Övrigt, mm		2	8
<b>Summa</b>	<b>108</b>	<b>154</b>	<b>228</b>

Svenska bioenergiföreningen (SVEBIO) gör bedömningen att potentialen för trädbränsle från den svenska skogen är totalt 135 TWh/år (tabell 2.6), utan att gå närmare in på vilka antaganden som ligger till grund för detta (SVEBIO 2004). Som källor anges SLU, 2003 och Skogsstyrelsens rapport SKA 99, 1999.

**Tabell 2.6.: Svenska bioenergiföreningens bedömning av potentialen för trädbränslen (SVEBIO 2004)**

Resurs	TWh
Avverkningsrester	64
Direkta bränsleavverkningar	17
Virke utan industriell användning	6
Skogsindustrins biprodukter	20
Återvunnet trädbränsle	4
Stubbar (50 %, enligt finsk modell)	10
Naturlig avgång	14
<b>Summa</b>	<b>135</b>

När det gäller utrymmet för att odla energigrödor på åkermark spelar antaganden om hur mycket mat som behöver odlas och med vilken produktivitet detta görs stor roll. Även valet av energigröda har betydelse. Enligt oljekommissionens sammanställning finns det ca 400 000 ha tidigare jordbruksmark, varav drygt hälften åkermark och hälften betesmark, som i olika grad håller på att växa igen med skog. Till 2050 anger kommissionen att detta skulle kunna ge ett bidrag med 12 TWh/år (Kommissionen mot oljeberoende 2006). Man skulle kunna tänka sig att nuvarande trädesareal, ca 320 000 ha enligt oljekommissionen, samt den areal som idag används för att odla exportgrödor är tillgänglig för odling av energigrödor (LRF 2005). Enligt LRF (2005) skulle det totalt motsvara ca 500 000-600 000 ha, dvs. 20 % av åkermarken och beroende på gröda skulle det enligt dem kunna ge 10-20 TWh energi.

Störst utbyte av de åkerbränslen som odlas i Sverige idag ger Salix. Med det förbättrade sortmaterial som nu finns tillgängligt kan det ge 7-11 ton torrsbstans per

hektar och år (Johnsson 2006).<sup>10</sup> Odling av salix på åkermark har vissa fördelar. En salixodling kan exempelvis bevattnas med avloppsvatten, varvid vattnet renas och odlingen får ett näringstillskott. Man kan även gödsla med avloppsslam. Salix har också visat sig vara bra på att ta upp kadmium ur jorden och kan användas för att rena åkermark som fått förhöjda kadmiumhalter till följd av tidigare användning av kadmiumhaltigt fosforgödsel (Börjesson m.fl. 2002). En utbedd odling av Salix skulle dock ge genomgripande effekter på landskapsbilden. Dessutom är Salix en mångårig gröda som kräver andra jordbruksredskap än de traditionella och av olika orsaker finns det en tveksamhet hos många lantbrukare att satsa på salixodling. Av dessa skäl antar man i de flesta studier att andelen Salix på åkermarken har vissa begränsningar.

Profu (2006 a) har på uppdrag av Energimyndigheten gjort en sammanställning av olika potentialstudier för tillgången på förnybar energi. Den maximala potentialen från åkergrödor är hämtad från Ericsson och Nilsson (2006) och anges till 59 TWh per år. De har då antagit att 40 % av åkermarken inte kommer att behövas för livsmedelsproduktion år 2046 och att den odlas med Salix, samt att halmen från spannmålsproduktionen tas till vara.

I norra Sverige har Salix svårt att växa och där kan rörflen vara ett alternativ. Avkastningen är lägre och produktionskostnaden är högre eftersom den måste skördas varje år. En fördel är att man kan använda traditionella maskiner. Odling på lämpliga marker i Västerbotten och Norrbotten (ca 30 000 ha) skulle, enligt LRF (2005) kunna ge 1 TWh bränsle. Ett annat alternativ är, enligt LRF, hampa om förbudet mot hampaodling hävs. Den kan odlas längre norr ut än Salix och ger även en högre energiavkastning. Nackdelen är att den måste planteras och skördas varje år och att det i nuläget saknas utvecklad teknik för skörd och förbränning.

Fördelarna med att använda traditionella åkergrödor som spannmål, vall och sockerbetor är att de är ettåriga, vilket innebär en liten risk för lantbrukaren, känd teknik kan användas och inga nya redskap behöver köpas in. De ger också möjlighet att behålla ett öppet landskap. Till nackdelarna hör att energiavkastningen är lägre än för exempelvis Salix och att det behövs mer näring och kemiska bekämpningsmedel i denna typ av odling.

Även rest- och biprodukter från jordbruket kan ge ett betydande tillskott. Halm motsvarande 7 TWh beräknas av LRF (2005) kunna tas tillvara för energiändamål och gödsel och rester från vegetabilieproduktion kan om de rötas till biogas ge 4 TWh.

Avfall och torv räknas ibland som biobränslen och finns ofta med i potentialsammanställningar. Enligt en studie av Profu (2006 b) kommer mängden organiskt avfall att uppgå till mellan 4,7 och 6 miljoner ton år 2013. Detta skulle motsvara

---

<sup>10</sup> Man skulle även kunna odla andra lövträd, som poppel, björk och al. I försöksodlingar, bla vid SLU, har dessa visat sig kunna producera ca 15 ton biomassa per hektar (SLU 2004).

ca 14 till 18 TWh. Man säger också att om alla anläggningar för behandling som är planerade verkligen byggs så kommer behandlingskapaciteten att överstiga 6 miljoner ton redan 2010 (Profu 2006a, med hänvisning till Profu 2006b). Det finns emellertid ofta både miljö- och energimässiga fördelar med att i första hand materialåtervinna avfall (se t.ex. Eriksson m.fl. 2007 och Finnveden m.fl. 2000).

LRF uppger i sitt energiscenario till 2020 att den årliga tillväxten av torv motsvarar ca 12-20 TWh. Av denna skulle, enligt SGU, torv motsvarande 10-12 TWh kunna brytas med bibehållen god miljöhänsyn. LRF antar att 10 TWh kommer från torv 2020.

Den framtida tillgången på bioenergi från skogen är förmodligen mycket beroende av hur prisutvecklingen blir. Dels för andra konkurrerande energibärare och dels för konkurrerande användning av träråvaran, framför allt inom pappers- och massaindustrin. Ändrade skogsbruksmetoder som intensivodling på vissa ytor, ökad kvävegödsling på kvävehämmade marker och förbättrad återplantering kan på sikt öka tillväxten i skogen och bidra till ett ökat utbud (Skogsutredningen, 2006). Helträdsutnyttjande kräver att teknik vidareutvecklas så att barravskiljning och askåterföring kan fungera tillfredsställande för att inte äventyra näringsbalansen och den långsiktiga produktionsförmågan i skogen.

När det gäller åkerbränslen så kommer antagligen prisutvecklingen på olika jordbruksprodukter att vara avgörande. Under lång tid har olika stöd, regleringar och tullar varit starkt styrande av utvecklingen på jordbruksområdet. Hur sådana kommer att utformas eller eventuellt avskaffas är av stor betydelse. Om man följer Falkemarks och Rockströms (2006) råd, att i ökad utsträckning importera socker- och etanol och exportera spannmål till tropiska länder, så skulle det vara lämpligt att koncentrera den svenska bioenergiproduktionen till biomassa från skogen, medan åkermarken i huvudsak används till att producera livsmedel. En sådan utveckling förutsätter en medveten politisk styrning och en hög grad av internationell samordning. En svår men viktig utmaning blir i så fall att öka köpkraften hos världens fattiga befolkning så att de har råd att köpa den mat som produceras. Planering och styrning av hur jordbruket bedrivs så att vattenresurser och biologisk mångfald inte utarmas skulle också vara nödvändig.

På samma sätt som för den globala bioenergitillförseln så har vi för den svenska använt två olika nivåer i scenarierna i kapitel tre. För Sveriges energianvändning år 2050 utgår vi ifrån de två globala tillförselalternativen och antar sedan att Sverige på grund av sin energiintensiva exportindustri använder 50-60% mer energi per person än det globala genomsnittet. Detta innebär ändå att Sverige i alla scenarier är en stor nettoexportör av både bioenergi och el. I Sverige produceras 150 respektive 200 TWh bioenergi i de två tillförselalternativen, varav 39-70 TWh exporteras. De flesta studier vi refererat i detta avsnitt indikerar en potential på mellan 150 och 200 TWh. Kommissionen mot oljeberoende (2006) utgör ett undantag med sina 228 TWh. Mot bakgrund av Falkemarks och Rockströms (2006) råd att i första hand odla mat på jordbruksmark i tempererade områden (se ovan) och risken att

Kommissionens mycket optimistiska potential för skogen leder till konflikter med andra miljömål, har vi valt att lägga den högre nivån på 200 TWh.

## 2.2 Potential för annan koldioxidneutral energi

### 2.2.1 Vindkraft

Vindkraft står idag för ca 1 TWh elproduktion i Sverige och över 120 TWh globalt. Inom EU står vindkraft för 3 % av den totala elproduktionen och i Danmark står den för 20 %. Nyinstallerad vindkraftseffekt ökade mellan år 2000 och år 2005 med i genomsnitt 28 % per år (IPCC, 2007).

Den teoretiska potentialen för vindkraft är stor. Även den praktiska potentialen är betydande. I en studie av WEC (1994) refererad i UNDP (2000) tas hänsyn till att vindkraftverk - på grund av bebyggelse, naturhänsyn, försvarshänsyn etc. - kan ställas upp på en begränsad andel av marken. Om vindkraftverk kan använda ca 1 % av världens landyta, så uppskattas elproduktionen kunna bli ca 19 PWh.<sup>11</sup> Detta kan jämföras med dagens totala globala elproduktion på 16 PWh. Till detta ska läggas potentialen för havsbaserad vindkraft. Här blir osäkerheten i uppskattningarna större beroende på att kunskapen idag är begränsad om bottenförhållanden och på att tekniken för havsbaserad vindkraft är mindre beprövad. Sannolikt är potentialen för havsbaserad vindkraft av samma storleksordning som den för landbaserad. I Sverige gjordes 1988 en uppskattning av potentialen för vindkraft i Sverige där man kom fram till en potential på 7 TWh till lands och 22 TWh till havs (SOU 1988:32). Denna potential förefaller dock vara försiktig. Tyskland har redan idag (2007) en elproduktion från vindkraft på mer än 30 TWh, trots en mindre landyta än Sverige och en ca tio gånger högre befolkningstäthet.

Kostnaden för ny vindkraft ligger enligt en uppskattning av Elforsk (2003) på ca 40 öre/kWh. Man har då antagit 6 % real kalkylränta och 20 års avskrivningstid. För havsbaserad vindkraft kring år 2015 uppskattas kostnaden till ca 30 öre/kWh. En uppskattning av IEA (2006) pekar på en kostnad under närmaste tioårsperiod på ner till 35 öre/kWh. IPCC (2007) uppger en beräknad kostnad år 2030 på mellan 21 och 56 öre per kWh.<sup>12</sup>

I och med att driftskostnaden för vindkraftverk är låg men investeringskostnaden hög spelar räntenivån en stor roll för vindkraftens kostnader. Vindförhållanden på tilltänkta lokaliseringsplatser är också en viktig faktor, eftersom energiutbytet ökar med vindhastigheten i kubik. Dessutom kan kostnadsuppskattningar skilja sig åt på grund av att man gör olika antaganden om anslutningskostnader till elnätet.

<sup>11</sup> Siffran 1% avser den mark som vindkraftsparkerna som helhet täcker, dvs även marken mellan dessa vindkraftverk ingår. Denna mark går att utnyttja för andra ändamål, t ex jordbruk. Ytan som upptas av själva vindkraftverkens torn mm är oftast försumbar.

<sup>12</sup> Omräknat med en dollarkurs på 7 kr.

### 2.2.2 Solcellsel

I en solcell omvandlas solens strålning direkt till el. Idag kostar solcellsel i storleksordningen 2-5 kr/kWh. Det är mellan 5 och 10 gånger mer än vad vindkraft kostar. Enligt flera källor kommer solcellsel även i framtiden att vara dyrare än vindkraftsel. IPCC (2007) uppger beräknad kostnad år 2030 till mellan 42 och 175 öre per kWh, vilket är mer än dubbelt så mycket som man beräknar att vindkraft ska kosta (se ovan).<sup>13</sup> På längre sikt kan solcellsel komma att ge ett stort bidrag till den globala energiförsörjningen, men tekniken förefaller idag relativt långt från en storskalig kommersialisering. Det största hindret för en större andel solcellsel är sannolikt kostnadsbilden och det därtill kopplade kapitalbehovet (Azar & Lindgren, 1998). Men det finns även andra hinder. För vissa typer av solceller med tunnfilms-teknik (CdTe, CIGS och aSiGe) som idag hör till de mest lovande vad gäller kostnadseffektivitet, kan knapphet på material komma att utgöra en restriktion för storskalig användning (Andersson, 2000). Denna begränsning gäller inte för solceller baserade på kristallint och amorft kisel, men dessa har å andra sidan inte samma potential att bli kostnadseffektiva.

### 2.2.3 Termisk solet

Vid produktion av termisk solet koncentreras solens strålar med speglar eller linser till litet område där hög temperatur erhålls. Detta utnyttjas till att förångna vatten som sedan får driva en ångturbin och generera el. I dagsläget är termisk solet betydligt billigare än solcellsel. IPCC (2007) uppger en kostnad på 84-300 öre per kWh jämfört med 175-1000 öre per kWh för solcellsel. Framtida kostnad skattas till 35-126 öre per kWh enligt samma källa. Termisk solet kräver relativt stora anläggningar med reflekterande speglar, vilket gör dessa svårare att lokalisera än solceller som kan placeras på befintliga hustak. I glesbefolkade soliga områden kan de dock ge ett bidrag.

### 2.2.4 Solvärme

Solvärmesystem för att i värma tappvarmvatten och delvis bidra till uppvärmning av bostäder är en teknik som idag har bättre konkurrenskraft på värmemarknaden än vad solceller har på elmarknaden. UNDP (2000) uppger en framtida kostnad på 21-70 öre per kWh värme.<sup>14</sup>

### 2.2.5 Vattenkraft

Den rent tekniska potentialen för vattenkraft är stor, men många pågående utbyggnader, speciellt i Kina och Indien är förknippade med allvarliga sociala och ekologiska konsekvenser (IPCC, 2007). Sådana skäl gör att utbyggnaden globalt begränsas väsentligt (Azar, 1998).

---

<sup>13</sup> Ibid.

<sup>14</sup> Ibid.

### 2.2.6 Vågkraft

Utvecklingen av vågenergi ligger långt efter vindkraftens utveckling. Framtida potential är osäker, men skulle kunna ge betydande elproduktion till ett överkomligt pris. Enligt IPCC (2007) skulle framtida kostnad för vågkraft kunna ligga kring 56-77 öre per kWh,<sup>15</sup> men man understryker att osäkerheten är mycket stor eftersom inga riktigt kommersiella anläggningar existerar. Det finns även möjligheter att utvinna el från havsströmmar. Här är dock osäkerheterna ännu större.

### 2.2.7 Kärnkraft

Kärnkraften har en fördel i och med att inga utsläpp av koldioxid sker vid driften, däremot ska ställas risker förknippade med drift, lagring av avfall samt risker för kärnavapenspridning vid en spridd global användning. På grund av att en reaktor kostar ca 20 miljarder kr per 1000 MW att bygga och byggtiden är förhållandevis lång så kan privata investerare anse att den ekonomiska risken är för stor om inte staten går in med garantier (IEA, 2006). Nybyggd kärnkraft ger inte heller självklart den billigaste elen. Enligt International Energy Agency (IEA, 2006) är kostnaden för ny kärnkraft och ny vindkraft i goda lägen i stort sett densamma.

I denna studie undersöks två fall där den svenska kärnkraften fasats ut innan år 2050 i linje med gällande riksdagsbeslut.

### 2.2.8 Avskiljning och lagring av koldioxid

Möjligheter att avskilja och lagra koldioxid har de senaste åren rönt ett allt större intresse. I princip handlar tekniken om tre steg; avskiljning av koldioxiden i ett kraftverk eller i en industrianläggning, transport av koldioxiden i pipeline eller på fartyg (flytande form) och slutligen deponering i s.k. saltvattenakvifärer under jord eller i uttömda gas- och oljefält.<sup>16</sup>

Enligt IPCC (2005) så beräknas kostnaden för avskiljning, transport och lagring av koldioxid från kol- och gaskraftverk med dagens teknik ligga på mellan 14 och 56 öre per kg CO<sub>2</sub>. Inga sådana anläggningar finns dock ännu i kommersiell drift. För industrianläggningar uppskattas kostnaden till mellan 30 och 90 öre per kg CO<sub>2</sub>. En fallstudie (Andersson & Johnsson, 2006) på ett brunkolskraftverk ger en uppskattad kostnad på 18 öre per kg avskilt CO<sub>2</sub> (enbart avskiljning). Detta motsvarar en ökning av produktionskostnaden från 28 till 42 öre per kWh. Det är även i princip möjligt att avskilja koldioxid från biomassa och därmed skulle man kunna åstadkomma negativa utsläpp (Möllersten m.fl., 2004; Uddin & Barreto, 2006).

De ovan uppgivna kostnadsuppskattningarna gäller alla storskaliga applikationer. Eftersom skalfördelarna är stora både vad gäller avskiljningstekniken och för transport av koldioxid så är de praktiska möjligheterna att applicera tekniken i

---

<sup>15</sup> Ibid.

<sup>16</sup> Även lagring i djuphaven har diskuterats.

mindre anläggningar begränsade (Uddin & Barreto, 2007). Azar m.fl. (2003) antar att 30 % av den globala energianvändningen för kraft- och värmeproduktion (inkl processvärme) kan förses med koldioxidavskiljning fram till år 2100, med hänvisning till de stora kostnaderna för småskaliga applikationer av tekniken. De flesta tekniker ger inte 100 % avskiljning, vilket också bör beaktas vid en uppskattning av den praktiska potentialen.

Trögheterna är stora vad gäller kraftverk och anläggningar i den energiintensiva industrin. Livslängden ligger ofta på kring 40 år, vilket gör att omställningar tar lång tid. I detta sammanhang är det viktigt att notera att det går snabbare att fasa in ny teknik om en bransch är i tillväxt. Detta gör att det inte hur som helst går att ta en potentialuppskattning från ett scenario med hög tillväxt och överföra den till ett med låg tillväxt.

Uppskattningar av den totala globala potentialen för lagring av koldioxid skiljer sig åt men ligger ofta på betydligt över 1000 Gt CO<sub>2</sub>, vilket kan jämföras med dagens globala utsläpp på ca 26 Gt per år. IPCC (2005) uppger en potential på 675 till 900 Gt CO<sub>2</sub> för gas- och oljefält och mer än 1000 Gt CO<sub>2</sub> i saltformationer.<sup>17</sup> Dock återstår mycket forskning och försök innan praktiska möjligheter att långsiktigt lagra koldioxiden utan läckage visats. Även legala aspekter behöver beaktas. Det gäller t ex vem som har ansvaret för att inte läckage uppstår på lång sikt.

## 2.3 Tillförsel av energi i scenarierna år 2050

Idag står fossila bränslen för över 80 % av den globala tillförseln av primärenergi. I tabell 2.7 jämförs läget år 2004 (IEA, 2006) med de två globala tillförselalternativ som används i denna rapport. De senare är båda utformade så att de globala utsläppen av växthusgaser minskar med 70 % mellan år 2004 och år 2050. Alla typer av utsläpp antas här minskas med 70 %.<sup>18</sup> Detta innebär att mängden fossilt bränsle som används utan lagring av koldioxid behöver minska från 105 PWh år 2004 till 31 PWh år 2050 under förutsättning att fördelningen mellan kol, olja och naturgas inte förändras.<sup>19</sup> I praktiken kommer avskiljning och lagring av koldioxid i störst utsträckning att användas för kol, men å andra sidan är inte avskiljningen hundra procentig. Vi antar att dessa faktorer tar ut varandra och att 31 PWh fossilt bränsle utan koldioxidlagring används i båda tillförselalternativen för år 2050.

---

<sup>17</sup> De potentialer som IPCC (2005) uppger skulle således räcka till att lagra utsläpp på dagens nivå i ca 70 år. Detta är ett hypotetiskt resonemang eftersom det bara är möjligt att lagra en del av dagens totala globala utsläpp, främst de från större stationära källor.

<sup>18</sup> Ingen analys har gjorts av möjligheterna att minska utsläppen för kategorierna; jordbruk, avfall och förändrad landanvändning. Dessa stod år 2000 för 35% av de totala antropogena utsläppen (Stern, 2006).

<sup>19</sup> Egentligen blir utrymmet för fossila bränslen 1-2 PWh lägre än här antaget på grund av att flygets utsläpp av vattenånga och kväveoxider tar upp utsläppsutrymme. Vi har dock bortsett från det eftersom effekten är relativt liten.

Tillgången på biomassa för energiändamål är en betydelsefull men samtidigt osäker parameter. Därför är det en faktor som vi varierar emellan scenarierna. Vilka faktorer som påverkar potentialen för bioenergi diskuterades i kapitel 2. De viktigaste är den globala kosthållningen (främst andel animalisk föda), hur intensivt jordbruket bedrivs, i vilken utsträckning mark måste avsättas för att tillgång på ekosystemtjänster ska säkerställas och den globala befolkningens storlek. I tillförelsalternativet Bio/Låg antas att tillgången på bioenergi år 2050 är 25 PWh. Detta är en förhållandevis låg siffra, men representerar ändå inte någon nedre gräns. I det andra alternativet antas att tillgången på biomassa för energiändamål är 80 PWh år 2050. Denna nivå skulle teoretiskt exempelvis kunna uppnås i ett scenario där intensivodling tillämpas i hela världens jordbruk samtidigt som den genomsnittliga globala kosthållningen liknar den vi idag har i västvärlden. Effekterna av en sådan intensiv markanvändning på jordens ekosystem och dess förmåga att framgent producera ekosystemtjänster<sup>20</sup> återstår dock att analysera.

**Tabell 2.7: De två globala tillförelsalalternativen som tas som utgångspunkt i denna rapport i jämförelse med läget år 2004. Källa för år 2004: IEA (2006).**

(PWh)	2004	Bio/Hög 2050	Bio/Låg 2050
Fossilt	105	31	31
Fossilt med CO2-lagring	0	20	25
Biomassa	13,7	80	25
Vattenkraft	2,8	4	4
Vind-, våg- och solkraft	0,1	20	30
Kärnkraft (netto el)	2,7	2,7	2,7
<b>Totalt:</b>	<b>124</b>	<b>158</b>	<b>118</b>
<i>Energi per capita (MWh):</i>	<i>20</i>	<i>18</i>	<i>13</i>

En mindre mängd tillgänglig bioenergi som i alternativet Bio/Låg ger generellt högre energipriser. Detta gör att en större utbyggnad av vind- och solkraft blir lönsam, liksom även en större andel för avskiljning och lagring av koldioxid. I alternativet Bio-Hög står vind-, våg- och solel för 20 PWh och i Bio/Låg för 30 PWh. Dessa volymer utgör relativt optimistiska skattningar. Vindkraften bidrar med en betydande del, medan termisk solel, solceller, vågkraft och geotermisk energi står för den resterande delen. Den genomsnittliga ökningen av världens vindkraftskapacitet var mellan 2002 och 2006 ca 25 % per år, d.v.s. en fördubbling på tre år. För att nå en nivå på t ex 10 PWh år 2050 skulle det som jämförelse krävas en genomsnittlig årlig tillväxt av vindkraftskapaciteten på ca 11 % mellan år 2005 och år 2050. För att nå en nivå på 19 PWh (motsvarar ett utnyttjande av 1 % av jordens landareal) år 2050 krävs en ökning på ca 13 % årligen. Vattenkraften ökar från 2,8 PWh år 2005 till 4 PWh i båda alternativen år 2050. Kärnkraften har globalt antagits ligga på samma nivå år 2050 som år 2005.

<sup>20</sup> Ekosystemtjänster är t ex rent vatten och ren luft, matjord, skydd mot UV-strålning (ozonlagret) etc.

Till detta ska läggas 20 respektive 25 PWh fossila bränslen som vi antar används i anläggningar där koldioxiden avskiljs och lagras. Detta motsvarar ca 25 respektive 40 % av energianvändningen för kraft- och värmeproduktion (inkl processvärme) och innebär att 6 – 8 Gt koldioxid lagras i de två tillförelalternativen för år 2050.<sup>21</sup>

Detta är relativt optimistiska antaganden med tanke på de stora trögheterna som karakteriserar kraftvärmeverk och anläggningar för energiintensiv industri och med tanke på osäkerheten om möjligheterna att lagra koldioxiden på ett säkert sätt. Som jämförelse så antar Azar m.fl. (2003) att 30 % av kraft- och värmeproduktionen kan förses med koldioxidavskiljning till år 2100. IEA (2006) antar i sitt ”Beyond the Alternative policy Scenario” (BAPS) för år 2030 lagring av 2,5 Gt koldioxid. Om detta scenario säger man att: ”The policies required to achieve the BAPS are clearly aggressive”.

Andelen av energitillförelsen som består av el blir betydligt högre i Bio/Låg än i Bio/Hög, vilket beror på att det blir lönsamt med en större elproduktion från vind-, våg- och solkraft. Detta har bland annat betydelse för val av drivmedel i transportsektorn och för val av uppvärmningssätt för småhus. I Bio/Låg blir också andelen intermittent elproduktion (sol, vind etc.) i förhållande till den totala elproduktionen mycket hög, i storleksordningen 50 %. Detta leder till högre produktionskostnader, antingen genom att en del energi lagras för senare bruk eller genom att man helt enkelt installerar en högre kapacitet och sedan får ”spilla bort” energi när tillgången är högre än efterfrågan.

I framtidsbilderna för år 2050 har vi antagit att Sveriges energianvändning per person år 2050 ligger ca 50-60% högre än för världens befolkning i genomsnitt. Orsakerna till detta antagande är dels att Sverige har en energiintensiv industristruktur (vilket kan sägas leda till en form av ”dold” energiexport) och dels beroende på kostnader för att transportera el och bioenergi. I övrigt antar vi att energimarknaderna i stor utsträckning är globaliserade. Detta innebär att prisnivåerna på energi världen över har konvergerat och att de prisskillnader som kvarstår i huvudsak beror på kostnaderna för att transportera bränslen och överföra el. En följd av detta resonemang är att om vi enbart i Sverige skulle öka energiproduktionen utöver det som antas nedan, t ex genom kärnkraft, så skulle det allra mesta av den elen exporteras till kontinenten.

I tabell 2.8 visas de två alternativen för tillförel respektive användning av energi för Sverige. De senare är utformade så att de innebär en energianvändning per person som ligger ca 50 respektive 60 % över det globala genomsnittet i respektive alternativ (exklusive solvärme och värme från jordskorpan som ej kan handlas på internationella marknader). Utsläppen av växthusgaser reduceras i båda tillförelalternativen till 0,92 ton CO<sub>2</sub>-ekv per person (1,15 ton CO<sub>2</sub>-ekv totalt inklusive jordbruk, deponier mm). Mängden fossil energi varierar något inom respektive

---

<sup>21</sup> Här antas att ca 80% av avskiljningen sker i anläggningar som använder kol och att 90% av koldioxiden avskiljs.

tillförselalternativ. Anledningen är att det finns ett mindre utsläppsutrymme över för fossila bränslen i de scenarier där flygresandet är relativt högt, vilket beror på att flygets utsläpp av kväveoxider och vattenånga där blir större. Mängden bioenergi som används i Sverige justeras åt andra hållet (genom förändrad export) så att total energianvändning blir densamma för scenarierna som använder respektive tillförselalternativ.

Även för Sverige är den viktigaste skillnaden mellan alternativen mängden biomassa som används för energändamål. Uppskattningar av Sveriges framtida potential för produktion av biomassa visar inte samma stora spännvidd som uppskattningar av den globala potentialen för biomassa. Detta beror främst på att i Sverige är det skogsmark som kommer att bidra med den största mängden bioenergi och att matproduktion inte utgör något realistiskt alternativ på denna mark. I alternativet Bio/Hög produceras 200 TWh i Sverige varav 145-161 TWh används inhemskt och i Bio/Låg produceras 150 TWh i Sverige varav 90-95 TWh används inhemskt. Mellanskillnaden utgör export av biomassa, främst till kraftvärmeverk och industri- anläggningar i Danmark och på kontinenten. Dessa siffror kan jämföras med en användning på 112 TWh år 2005 (Energimyndigheten, 2006 a). För 20 TWh bränsleanvändning antar vi att avskiljning och lagring av koldioxid sker. Mängden koldioxid som lagras blir drygt 5 miljoner ton per år. Solvärme bidrar i scenarierna med 4-7 TWh.

**Tabell 2.8: De två alternativen för svensk tillförsel respektive användning av energi som används i denna rapport. Fossilbränsleanvändningen varierar i de olika scenarierna beroende på olika nivå på flyget och därmed olika nivåer på dess utsläpp av kväveoxider och vattenånga. Källa för 2005: Energimyndigheten (2006 a) samt egna kompletteringar för utrikes flyg- och sjöfart. Dessa beräknas stå för ca 14 respektive 7 TWh enligt vår systemavgränsning.**

	2005 (TWh)	Bio/Hög 2050 (TWh)	Bio/Låg 2050 (TWh)
Fossilt	212	34-50	40-45
Biomassa	112 <sup>22</sup>	200	150
Vattenkraft	72	68	68
Vind- och vågkraft	1	30	45
Kärnkraft (netto el)	70	0	0
Solvärme	0	4	6
<b>Totalt tillförsel</b>	<b>467</b>	<b>336-352</b>	<b>309-314</b>
Nettoexport av biomassa	? <sup>23</sup>	39-55	55-60
Nettoexport av el	7	17	30
<b>Total användning (inkl förluster)</b>	<b>460</b>	<b>280</b>	<b>224</b>
<b>varav med CO2-lagring</b>		<b>20</b>	<b>20</b>
<i>Energi per capita (MWh):</i>	<i>51</i>	<i>25</i>	<i>19</i>

<sup>22</sup> En del av denna, osäkert hur stor del, importeras.

<sup>23</sup> Osäkerheten är här stor, men troligen är det fråga om en nettoimport.

I tabell 2.9 visas svensk elproduktion och elanvändning samt export av el. I Bio/Hög används 30 TWh ny el från vind- och vågkraft och i Bio/Låg ca 45 TWh. Den absoluta merparten antas komma från vindkraft, varav en stor del från havsbaserad vindkraft. Som jämförelse har Tyskland redan idag mer än 30 TWh vindkraft på en yta som är mindre än Sveriges. Kärnkraften i Sverige har fram till 2050 fasats ut. Vattenkraftens elproduktion är marginellt större än vid sekelskiftet främst beroende på effektivisering av befintliga anläggningar.

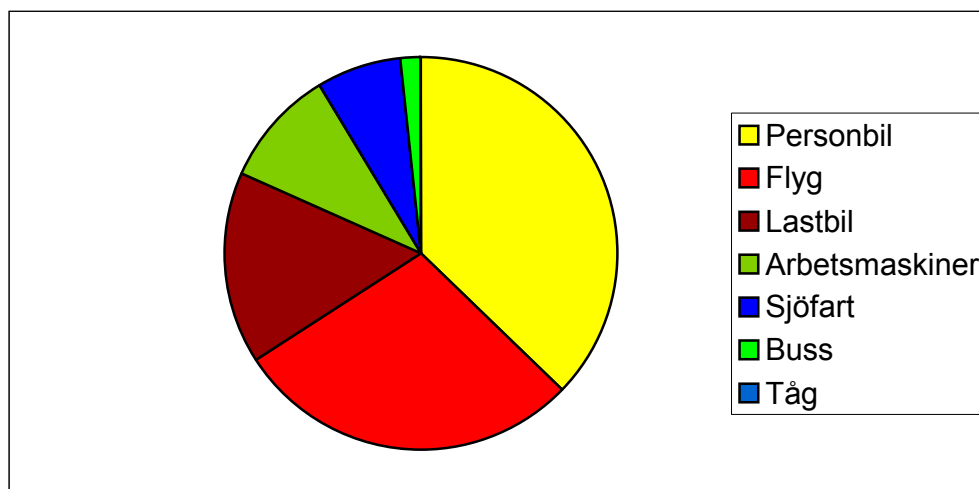
**Tabell 2.9: Elproduktion och elanvändning i Sverige i de två tillförelalternativen. Källa för år 2005: Energimyndigheten (2006 a).**

	År 2005 (TWh)	Bio/Hög 2050 (TWh)	Bio/Låg 2050 (TWh)
Vattenkraft	72	68	68
Vind- och vågkraft	1	30	45
Solel	0	0	0
Kärnkraft	70	0	0
Kraftvärme/Mottryck	12	25	15
Summa produktion av el:	154	123	128
Export	7	17	30
<b>Summa inhemsk användning av el (inkl nätförluster)</b>	<b>147</b>	<b>106</b>	<b>98</b>

## 2.4 Transporter

### 2.4.1 Nuläge och trender

Transportsektorn stod år 2005 för 114 TWh eller knappt 30 % av den svenska energianvändningen, enligt den systemavgränsning som tillämpas i denna rapport (inklusive arbetsmaskiner samt utrikes flyg och sjöfart). För utsläpp av växthusgas är motsvarande andel högre, ca 45 %. I figur 2.1 visas hur transportsektorns utsläpp fördelade sig på olika transportslag år 2005. Utsläppen från personbilar är störst, tätt följt av flygtrafikens utsläpp. Lastbilstransporter, arbetsmaskiner och sjöfart står också för betydande andelar.



Figur 2.1: Transportsektorns utsläpp av växthusgaser år 2005 uppdelat på de olika transportslagen enligt den "bottom-up" modell som används i denna studie (se bilaga 1). I flyg, sjöfart och spår ingår persontransporter och godstransporter. Svenskars utrikes flyg- och sjöresande ingår, liksom import med fraktfartyg och färjor. Speciellt underlaget för utrikes sjöfart är osäkert. För flyget är antaget en uppräkningsfaktor av koldioxidutsläppen med en faktor 2,5 för att ta hänsyn till utsläppen av kväveoxider och vattenånga (se text). Totala utsläppen av växthusgaser från transportsektorn som den här är avgränsad uppgår till ca 35 miljoner ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter.

Transportsektorn är den sektor i samhället vars utsläpp ökar snabbast och den del som har den högsta ökningstakten är flyget. Svenskars flygresande står idag för mellan 10 och 20 % av de totala utsläpp som kan relateras till den svenska befolkningen (Åkerman, 2005; Sausen m.fl., 2005). Osäkerheten i denna skattning beror på en osäkerhet om hur mycket flygets utsläpp av vattenånga och kväveoxider bidrar till klimatpåverkan. Den totala klimatpåverkan från flygets utsläpp uppskattas vara mellan 1,9 och 5 gånger högre än den som orsakas av enbart koldioxiden (Sausen m.fl., 2005).<sup>24</sup> Vi antar för beräkningarna i denna studie att denna faktor ligger på 2,5, men gör en känslighetsanalys i avsnittet *Jämförelse av energi- och transportsystemets struktur i scenarierna år 2050* i slutet av kapitel 3.<sup>25</sup>

Utrikes flygresor står för mellan 80 och 90 % av flygets utsläpp. De senaste decennierna har flygresandet ökat med ca 5 % per år vilket innebär en fördubbling på knappt 15 år. Den specifika energianvändningen och utsläppen minskar kontinuerligt på grund av bränslesnålare flygplan, högre beläggning och bättre organisation av flygtrafiken. Dessa faktorer kan dock bara motverka en mindre del av det ökade

<sup>24</sup> Sausen (2005)

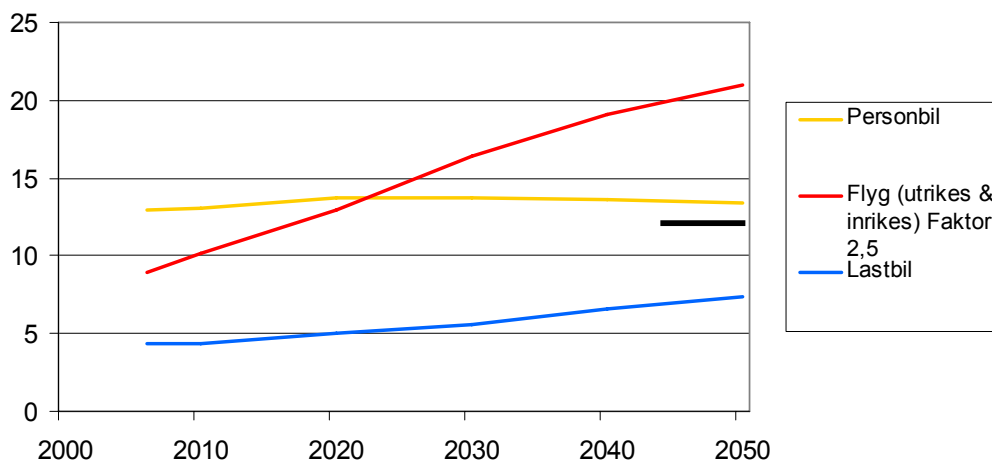
<sup>25</sup> Sausen avser det så kallade RFI (radiative forcing index) som avser den ökade värmestrålningen idag av alla historiska utsläpp från – i detta fall – flyget. En stor osäkerhet råder om den strålningspåverkan som cirrus moln orsakade av flygets utsläpp av vattenånga kan orsaka. Sausen uppger att den sannolikt ligger i intervallet 10-80 mW/m<sup>2</sup> (koldioxid ligger på 25,3 mW/m<sup>2</sup>). Man anser inte att data är tillräckligt säkra för att göra en "best estimate" i detta intervall. Däremot uppger man ett "Estimated "mean"" på 30 mW/m<sup>2</sup>. Vårt antagande om en uppräkningsfaktor på 2,5 innebär att påverkan från cirrusmoln antas vara ca 15 mW/m<sup>2</sup>. När det gäller utsläppsnivåerna i framtidsbilderna år 2050 så är det egentligen inte RFI som är relevant utan den framtida över en specifik tidsperiod integrerade strålningsförändringen av ett visst utsläpp år 2050. Vi antar även för denna Emission –Weighting Factor (EWF) ett värde på 2,5. Detta antagande innebär att vi antar en strålningsförändring från cirrus moln idag på 10 mW/m<sup>2</sup>, dvs nederst i spannet ovan, och att tidshorisonten antas vara 100 år (Sausen m fl, 2005; Forster m fl, 2006).

flygresandet, vilket innebär att flygets utsläpp med dagens utveckling kommer fördubblas på ca 25 år.

Även lastbilstransporterna och sjötransporterna ökar idag relativt snabbt. Trafikarbetet för tunga lastbilar på svenska vägar, mätt som fordons-km, har mellan år 1997 och år 2006 ökat med i genomsnitt 2 % per år. För lätta lastbilar är motsvarande ökningstakt 4,5 % per år. Personbilstrafiken ökar också men i långsammare takt, ca 1 % per år under denna period. (Vägverket, 2007).

I figur 2.2 visas en "låt-gå-utveckling" som kan illustrera en möjlig utveckling av utsläppen om inga ytterligare åtgärder sätts in. Målnivån som används i denna studie för hela samhällets utsläpp, 12 miljoner ton CO<sub>2</sub>-e, år 2050 är markerad i figuren. Med en sådan "låt-gå-utveckling" skulle både flygresandet och personbilsresandet var för sig överskrida målnivån för hela samhället.

(milj ton CO<sub>2</sub>-e)



Figur 2.2: En "låt-gå-utveckling" för utsläpp av växthusgaser från vägtrafik och flygresande 2006-2050 med måttliga teknikförbättringar. Specifik energianvändning antas minska med 20% för lastbilar, 30% för personbilar och med 44% för flyget. Inga biodrivmedel är medräknade. Prognos för volymerna personbil och lastbilstransporter är från Vägverket (2007) och för flyget är antaget en årlig ökning på 3,3% per år i genomsnitt under perioden. Målnivån på 12 miljoner ton som används i denna studie för hela samhället år 2050 är markerad i figuren.

Arbetsmaskiner räknar vi i denna studie till transportsektorn. Det är en heterogen grupp som exempelvis innefattar entreprenadmaskiner, traktorer, skogsmaskiner, snöskotrar, motorsågar och gräsklippare. Entreprenadmaskiner står för den största andelen av utsläppen, 1,6 miljoner ton koldioxid per år.

#### 2.4.2 Potential för teknikeffektivisering och utbyte av fossila bränslen

I detta avsnitt gör vi en uppskattning av hur stor den teknisk-ekonomiska potentialen för minskad specifik energianvändning hos fordon och farkoster är. Om dessa potentialer ska kunna realiseras krävs betydligt kraftfullare styrmedel än de som finns idag. Dessutom görs en översiktlig bedömning av möjligheterna för olika transportslag att byta till mer eller mindre förnybara drivmedel.

För personbilar kan hybridlösningar ge ca 20-30% lägre bränsleförbrukning. Lägre framdrivningsmotstånd genom bättre aerodynamik, lätttrullande däck och lägre fordonsvikt har också en stor potential. När det gäller fordonens vikt går dock dagens utveckling i motsatt riktning, en utveckling som det är nödvändigt att bryta. En större användning av dieselmotorer skulle ge en ca 20 % lägre energianvändning. En förutsättning för att detta inte ska ge negativa hälsoeffekter är att utsläppen av partiklar och kväveoxider kan lösas på ett tillfredställande sätt. Ett kompletterande sätt att lösa dessa problem, vilket antas i flera av framtidsbilderna för 2050, kan vara att använda plug-in-hybrider (se nästa stycke) som enbart använder el laddad från nätet vid körning i tätorter. Den totala potentialen för att minska energianvändningen per fordons-km (för bilar med förbränningsmotor påkopplad) fram till 2050 bedömer vi vara mellan 60 och 70 % för kortväga resande och mellan 50 och 60 % för långväga resande, vilket motsvarar en bränsleförbrukning som i energitermer motsvarar 2,4-4,0 liter bensin per 100 fordons-km. Detta är i linje med uppskattningar av bland andra Åhman (2001) och IPCC (2007). Det bör noteras att dessa potentialuppskattningar avser genomsnittlig fordonsflotta år 2050 och att de då nyaste fordonen kan ha en något lägre förbrukning. Vi antar en oförändrad beläggning för personbilar fram till år 2050. Det betyder att dagens svaga trend mot allt färre personer per bil har brutits men också att inga förbättringar skett.

En batterielbil har en energiverkningsgrad i fordonet som är mer än två gånger högre än för en dieselhybrid eller en bränslecellsbil som använder väte (Åhman, 2001). Om primärenergikällan är biomassa så blir verkningsgraden totalt sett ca 25 % högre för en batterielbil jämfört med de två andra alternativen. Med vind, vatten eller vågkraft blir även totala verkningsgraden mer än dubbelt så hög för elbilen (Åhman, 2001; Romm, 2006). Den stora nackdelen med elbilar är den begränsade räckvidden. Genom att förse en hybrid med förbränningsmotor med ökad batterikapacitet kan man få det bästa av två världar, lika lång räckvidd som konventionella bilar och en oöverträffad verkningsgrad när den körs på el laddad från nätet.<sup>26</sup> Konzeptbilar av sådana plug-in-hybrider har nyligen visats upp av Volvo och General Motors. Plug-in-hybrider blir, när de introduceras på marknaden, ännu något dyrare och tyngre än en vanlig hybrid (typ Toyota Prius), men energikostnaden blir å andra sidan betydligt lägre. Med dagens elpris skulle en färdigutvecklad plug-in-hybrid förbruka el för mindre än 2 kronor milen. Om räckvidden på nätet för en plug-in-hybrid är 5 mil så kan teoretiskt 74 % av alla personbils-km köras på nätet (egen bearbetning av resvaneundersökningen 1999-2001). I praktiken begränsas denna potential av ett antal faktorer. Det är inte alltid möjligt att ladda batterierna mellan två körningar, beroende på antingen att tiden är begränsad eller på att lämplig elanslutning saknas. I kallt klimat kan behovet av extra kupévärmes vid eldrift göra att det kan vara närapå lika effektivt att utnyttja en snål förbränningsmotor. I scenarierna förutsätts mellan 25 och 50 % av personbilstrafiken utnyttja el laddad

<sup>26</sup> Vilken räckvidd man dimensionerar batterierna för är till stor del en kostnadsfråga. Bilens vikt och därmed energianvändningen ökar också något med större batterikapacitet. I en parallellhybrid minskar maximal motorstyrka när man enbart använder el laddad från nätet.

från elnätet. En nackdel med plug-in hybrider – delvis också för vanliga hybrider – är att bilarna blir tyngre och mer komplexa, vilket tenderar att öka resursanvändning och utsläpp vid produktionen av bilarna.

För lastbilar är effektiviseringspotentialen betydligt lägre än för personbilar. Detta beror på att det i lastbilar nästan enbart används effektiva dieselmotorer och att nyttolastens andel av fordonets totalvikt är hög. Ytterligare en orsak är att kontinuerligt strängare utsläppskrav för partiklar och kväveoxider minskar möjligheterna att optimera motorerna för låg bränsleförbrukning (Duleep, 1997; Vägverket, 2004). Trots detta finns det vissa möjligheter att åstadkomma effektivitetsförbättringar genom bättre aerodynamik, lättare material, ännu effektivare motorer och hybridlösningar för distributionsbilar. Enligt Interlaboratory Working Group (1997) citerad i IPCC (2001 b) så kan den sammantagna potentialen uppgå till 37% minskad specifik bränsleförbrukning. Med hänsyn tagen till konflikten mellan låg bränsleförbrukning och låga utsläpp av partiklar och kväveoxider antar vi att energianvändningen per ton-km kan minskas med 30 % för långväga godstransporter och med 40 % för distribution fram till 2050. När det gäller genomsnittlig lastfaktor så har vi inte antagit någon förändring i framtidsbilderna år 2050 jämfört med dagens läge. Å ena sidan finns det genom utnyttjande av IT-baserade hjälpmedel möjlighet att öka lastfaktorn, men å andra sidan är det just bland de motriktade transporterna av likartade produkter, vilka ofta har en hög lastfaktor, som det finns en potential att minska det totala transportarbetet.

Under de senaste decennierna har flygplanen blivit betydligt bränslesnålare. Även om de största förbättringarna är gjorda så finns det betydande potential kvar. I de av IPCC (1999) citerade FESG-scenarierna (ICAO Forecasting and Economic Support Group) minskar bränsleförbrukningen för genomsnittligt sålda flygplan med 23-33% mellan år 1997 och år 2050. Green (2002) uppskattar effektiviseringspotentialen för sålda flygplan till 30-35% mellan år 2001 och år 2050 och i projektet ESCAPE görs uppskattningen att potentialen för minskad bränsleförbrukning fram till 2050 är 37-45% (Peeters Advies, 2000). Vi antar i denna studie att bränsleförbrukningen för den genomsnittliga globala flygplansflottan (bara drygt 10 % av svenskars flygresande, mätt i person-km, utgörs av inrikesflygningar) skulle kunna minska med 35-45% mellan år 2005 och år 2050. Utöver detta finns det en potential att förbättra organisationen av flygtrafiken, ett arbete som redan pågår. Det innefattar bland annat genare flygvägar, optimalare val av flyghöjd och ”gröna inflygningar” som minskar bränsleförbrukningen. Enligt IPCC (1999) kan dessa typer av åtgärder sammantaget minska bränsleförbrukningen med 6-12%, vi räknar i alla scenarierna med en 10 % minskning. Beläggningen för flyget var år 2005 ca 75 % och trenden går mot ännu högre beläggning, en utveckling som inte minst möjliggjorts av att internetbokning med mycket flexibla priser har slagit igenom. Denna utveckling kommer sannolikt att fortsätta. Vi antar en ökning från 75 % till 80 % år 2050. I praktiken kan man tänka sig ännu högre beläggning genom att de sista lediga sätena säljs ut mycket billigt. Vad man då bör komma ihåg är att sådana strategier också kommer att öka det totala resandet utöver vad vi antagit

i det Teknikscenari som presenteras senare i detta kapitel, och att dessa två faktorer i stort tar ut varandra.

Alla dessa faktorer sammantagna gör att vi uppskattar möjligheten att reducera den specifika energianvändningen för flygresande (kWh/person-km) till mellan 45 och 54 % fram till år 2050 jämfört med år 2005. Samma potential har antagits för fraktflyget.

Flygplan som från ritbordet utformas för en lägre marschhastighet kan ge en ytterligare ca 25 % lägre bränsleförbrukning (Åkerman, 2005; Dings m.fl., 2000). Sådana avancerade propellerflygplan skulle kunna ha en hastighet på 640-700 km/h jämfört med dagens turbojetflygplan som har en hastighet på 820-920 km/h<sup>27</sup>. Den specifika energianvändningen för dessa flygplan antar vi blir 62 % lägre än för dagens genomsnitt. I scenario 5 där den genomsnittliga arbetstiden är 25 % kortare än år 2005 och tempot i livsföringen är lägre, så antar vi att dessa långsammare flygplan står för mer än hälften av flygresandet.

Med vissa undantag så är godstransporter med renodlade fraktfartyg mycket energieffektiva, medan persontransporter med färjor ofta är förhållandevis energikrävande. En orsak till detta är att nyttolastens andel av hela fartygets vikt är stor för ett fraktfartyg (i storleksordningen 50 %), medan motsvarande andel är mycket liten för en passagerarfärja (oftast under 1 %). Till sjöss ökar energianvändningen ungefär med kvadraten på hastigheten. Färjor har ofta högre hastighet än renodlade fraktfartyg, och detta gäller i synnerhet för snabbfärjor som går med mellan 28 och drygt 40 knop. Om lägre hastigheter skulle kunna accepteras finns således betydande energibesparingar att hämta. Vi antar i framtidsbilderna att snabbfärjor får en 10-15% lägre hastighet vilket i sig ger 25 % lägre bränsleförbrukning. Den längre överfartstiden som blir fallet skulle till stor del kunna kompenseras genom procedurer för snabbare lastning och lossning av färjorna.

Slankare och på andra sätt optimerade skrov tillsammans med utvecklade drivlinor bedömer vi kan ge en minskad energianvändning på ca 30 % för de flesta fartygstyper (Steen m.fl, 1997). Utnyttjande av vindens energi genom att använda vingprofiler på vissa lastfartyg, kan också minska bränsleåtgången något. Sammantaget gör vi bedömningen att den specifika energianvändningen kan minska med 35 % för lastfartyg och färjor i 20 knop, medan den kan minska med 50 % för snabbfärjor om hastigheten samtidigt reduceras med 10-15%.

För arbetsmaskiner bedömer vi att en 30 % reduktion av specifik energianvändning är möjlig. Den enskilt viktigaste åtgärden är att använda hybriddrivlina för entreprenadmaskiner, vilka står för merparten av energianvändningen.

---

<sup>27</sup> Potentialen avser så kallade "lower speed propfans".

För persontåg finns det en potential att minska energianvändningen per person-km med 45 % samtidigt som maximal hastighet höjs från 200 till 250 km/h (Andersson & Lukaszewicz, 2006). För godståg är potentialen något lägre, ca 30 % (Andersson, 1996).

I tabell 2.10 och 2.11 sammanfattas vår uppskattning av potentialen för teknikeffektiviseringar till år 2050. Det finns stora möjligheter att minska den specifika energianvändningen för de flesta transportslag, men av tabellen framgår också att det finns stora energibesparingar och utsläppsminskningar att göra genom byte av transportslag. Detta är en viktig beståndsdel i alla scenarier.

**Tabell 2.10: Potential för att effektivisera den specifika energianvändningen för persontransporter till år 2050. För bil och flyg har två nivåer använts. I scenario 1 och 3 har den mer långtgående effektiviseringen antagits, medan det i scenario 2, 4 och 5 antas en något lägre effektivisering. För antaganden om beläggning, se relevanta textavsnitt.**

	kWh/person-km år 2005	Potential till ca 2050	kWh/person-km ca år 2050
<b>Kortväga resande (&lt;100 km)</b>			
Bil, förbr. motor	0,65	- 60-70%	0,20-0,26
Plug-in-hybrid, nätel		-85%	0,10
Buss	0,30	- 60%	0,12
Spår	0,12	- 50%	0,06
<b>Långväga resande (&gt;100 km)</b>			
Bil, förbr. motor	0,30	- 50-60%	0,12-0,15
Buss	0,13	- 40%	0,07
Färja, 75% (ca 20 knop)	0,60	- 35%	0,39
Snabbfärja (>25 knop)	1,80	- 50%	0,9
Spår, 250 km/h	0,10	- 45%	0,055
Flyg	0,44	- 45-54%	0,20-0,24
Långsammare flyg (640-700 km/h)		-62%	0,17

**Tabell 2.11: Potential för att effektivisera den specifika energianvändningen för godstransporter till år 2050.**

	kWh/ton-km, 2005	Potential till ca 2050	kWh/ton-km, 2050
Lastbil (<100 km)	0,70	- 40%	0,42
Lastbil (>100 km)	0,25	- 30%	0,17
Lätt lastbil (<3.5 ton)	-	- 45%	-
Spår	0,05	- 30%	0,03
Färja (ca 20 knop)	0,30	- 35%	0,19
Lastfartyg	0,05	- 35%	0,03
Flyg	3,00	- 45-54%	1,38-1,65

När det gäller förnybara drivmedel för transportsektorn så är det svårt att utse en entydig vinnare. För biobaserade drivmedel är transportarbete per odlad markyta det viktigaste kriteriet, åtminstone i det längre tidsperspektivet mot 2050. Det gäller således att man har en hög avkastning biomassa per ytenhet, att energiinnehållet

i det färdiga drivmedlet är stort i förhållande till den energi som satts in i hela drivmedlets produktionsprocess och att verkningsgraden i fordonet är hög. Det är vidare fördelaktigt om drivmedel kan produceras från flera olika typer av biomassa. En lovande teknik som kan användas för att producera ett flertal olika drivmedel är förgasning. Tillverkning av flytande bränslen genom förgasning av kol förekommer idag i kommersiell skala, t ex i Sydafrika. För förgasning av biobränslen återstår det visst utvecklingsarbete. De bränslen som beräknas ge högst energiutbyte vid förgasning av biomassa är väte, metan, metanol och DME (Vägverket, 2001; Azar, 2003; Börjesson, 2007). I denna studie har vi antagit att metanol och/eller DME används, av praktiska och ekonomiska skäl. Energianvändningen skulle dock inte förändras mer än marginellt om vi istället valt väte eller metan. För flyget har vi antagit att det i framtidsbild 4 (i alla andra används fortfarande fossilt flygfotogen) använder syntetisk flygfotogen producerat genom förgasning av biomassa. Varför vi inte antar någon större andel för väte och bränsleceller i framtidsbilderna utvecklas nedan. Dock konstaterar vi att väte kan vara en viktig komponent för att, inte minst efter år 2050, lyckas minska utsläppen ytterligare jämfört med de målnivåer vi här använt. Om lagring av koldioxid kan användas på ett säkert sätt i ännu större utsträckning än vi antagit i denna studie så ökar det också nyttan av att använda väte som drivmedel.

I tabell 2.12 visas de energiverkningsgrader för produktion av drivmedel från primärenergi som antas i denna studie. Samma verkningsgrad antas för metanol respektive DME från skogsråvara.

**Tabell 2.12: Energiverkningsgrad vid produktion av drivmedel från primärenergi. Källor: Uppenberg m.fl. (2001), Åhman (2001), Vägverket (2001), Azar (2003) Energimyndigheten (2006 a) och Börjesson (2007).**

Energibärare	Verkningsgrad från primärenergi till energibärare i fordon	Uppräkningsfaktor (1/verkningsgrad)
Bensin	0,91	1,1
Diesel	0,94	1,06
Bunkerolja (för sjöfarten)	0,94	1,06
Flygbränsle (fossilt)	0,94	1,06
Syntetiskt flygbränsle (förgasning av biomassa)	0,55	1,82
DME/metanol (förgasning av biomassa)	0,60	1,67
El	0,92	1,08

Som vi konstaterat ovan så har en plug-in-hybrid som använder nätet en högre energiverkningsgrad än en bränslecellsbil som använder väte, oavsett vilken primärenergikälla som används. I framtidsbilderna för år 2050 antas att det för en stor del av bilresandet i tätorter används el laddad från nätet antingen i plug-in-hybrider eller i små batterielbilar.

För längre resor som främst sker utanför större städer behövs något annat drivmedel. En svårighet med vätgas som drivmedel är att det är dyrt att distribuera, speci-

ellt när mängderna är små (IVA, 2003, b). Detta innebär att för korta körningar i och kring städer har plug-in-hybrider en jämfört med bränslecellsfordon bättre verkningsgrad och för körning i glesbygd är varken nätel eller vätgas något riktigt bra alternativ. Där antar vi i scenarierna att hybrider används (kan vara av plug-in typ) som utnyttjar fossila bränslen eller metanol/DME producerat från biomassa. Ingen användning av vätgas antas heller för flyget. Skälen är flera. En övergång till vätgas kräver helt nya flygplan, nya produktions- och distributionsanläggningar samtidigt som ledtiderna från start av planering av ett nytt flygplanskoncept till större delen av flottan är utbytt rör sig om 40-60 år. För flygindustrin är det av största vikt att kontinuerligt förbättra säkerheten vilket gör att man är försiktig med att pröva helt nya tekniska lösningar. Dessutom leder vätgas till 2,6 gånger högre utsläpp av vattenånga och osäkerheten om klimatpåverkan från dessa utsläpp är fortfarande stor.

För flyget antas att klimatpåverkan från flygets utsläpp av vattenånga och kväveoxider fram till år 2050 kan minska med en tredjedel i förhållande till utsläppen av koldioxid. Detta skulle kunna ske genom att flygvägar anpassas efter de lokala atmosfäriska förhållandena. Vi antar således att flygets uppräkningsfaktor för utsläpp av vattenånga och kväveoxider sjunker från 2,5 idag till 2,0 år 2050.

## 2.5 Industri

### 2.5.1 Nuläge och trender

Industrin stod år 2005 för knappt 40 procent av den totala svenska energianvändningen enligt den systemavgränsning som används i denna studie. Fördelningen på olika energibärare visas i tabell 2.13.

**Tabell 2.13: Slutlig energianvändning inom industrisektorn 2005, fördelad på energibärare, TWh. Källa: SCB (2006b)**

Energibärare	TWh
Kol och koks, koksugns- och masugns gas	16,3
Oljeprodukter	17,1
Natur- och stadsgas	4,3
Biobränslen, torv mm	55,2
Fjärrvärme	3,2
El	55,9
<b>Summa</b>	<b>152,0</b>

I aggregerade termer utgörs användningen av 25 procent fossila bränslen, 37 procent el och 38 procent biobränsle och fjärrvärme. Energianvändningen skiljer sig något mellan olika källor. Energimyndigheten redovisar en energianvändning på 155,6 TWh (Energimyndigheten 2006 a). Jämfört med år 1990 har energianvändningen fram till år 2005 ökat med 12,5 TWh. Av denna ökning står biobränslen för 8 TWh och el för 4 TWh. Användningen av olja samt kol och koks låg år 2005 på

ungefär samma nivå som år 1990. Före 1990 ökade elanvändningen medan oljeanvändningen minskade (Energimyndigheten 2006 a).

De mest energiintensiva branscherna sett till specifik energianvändning (kWh per kr produktionsvärde) är massa- och pappersindustri samt järn- och stålverk. Järn- och stålverk har den högsta specifika oljeanvändningen och massa- och pappersindustri den högsta specifika elanvändningen (Energimyndigheten, 2006 a). Den specifika energianvändningen i järn- och stålverk har minskat med 23 procent medan den ökat med 11 procent i massa- och pappersindustrin.

I denna studie gör vi en indelning av industrin i tre delar; massa- och pappersindustri, järn- och stålverk samt övrig industri. Energianvändningen år 2005, fördelad på dessa delar redovisas i tabell 2.14. Enbart massa- och pappersindustrin står för hälften av hela industrins energianvändning. Järn- och stålindustrin står för en sjättedel av energianvändningen och ca 30 % av utsläppen av koldioxid. Om man istället studerar industrins förädlingsvärde blir dessa två sektors andel mer blygsam. Av industrins totala förädlingsvärde på 511 miljarder kronor år 2004 stod massa- och pappersindustrin för 9 %, järn- och stålindustrin för 3 % och verkstadsindustrin för 50 % (Energimyndigheten, 2007 a).

Minskningen av den specifika energianvändningen beror på såväl minskad specifik energianvändning inom branscherna som på strukturförändringar. Det bör observeras att energianvändningen också påverkas av strukturförändringar mellan delbranscher inom de branscher som diskuteras. Det är främst verkstadsindustrins tillväxt och effektivisering av energianvändningen som förklarar att den specifika energianvändningen minskat så kraftigt. När nya anläggningar tillkommer är de ofta energieffektivare än den befintliga stocken. Detta innebär förstås också att om produktionstillväxten är liten (eller obefintlig) så tar det längre tid att minska den specifika energianvändningen, alternativt blir kostnaderna höga om maskiner och utrustning behöver bytas ut i förtid. Sedan 1990 har den specifika energianvändningen för industrin som helhet minskat med 70 procent. (beräknat med underlag från Energimyndigheten, 2007)

**Tabell 2.14: Slutlig energianvändning inom industrisektorn 2005, fördelad på den gruppering av branscher som vi använder i denna rapport, TWh. Källa: SCB (2006b)**

Bransch	Bränslen TWh	El TWh	Summa TWh
Massa- och pappersindustri	53,8	23,5	77,3
Stål- och metallverk	17,7	8,5	26,3
Övrig industri	24,6	23,9	49,5
<b>Summa</b>	<b>96,1</b>	<b>55,9</b>	<b>152,0</b>

Utsläpp av växthusgaser från industrin härrör från förbränning men också från processer. I denna studie ingår bara utsläppen av koldioxid. Utsläppen av växthusgaser från förbränning var år 2005 11 miljoner ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter från industrin, varav 10,4 miljoner ton koldioxid. Från petroleumraffinaderier var utsläppen 2,4

miljoner ton koldioxid. Utsläppen från industriprocesser var 6,4 miljoner ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter varav 4,7 miljoner ton koldioxid. Sammanlagt var utsläppen av växthusgaser 19,8 miljoner ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter från industrin, inkl petroleumraffinerier. Av dessa är det 17,4 miljoner ton CO<sub>2</sub> som ingår i denna studie (Energimyndigheten/Naturvårdsverket, 2007).

Fördelningen av utsläppen av koldioxid på olika branscher redovisas i tabell 2.15.

**Tabell 2.15: Utsläpp av koldioxid från industrisektorn 2003, fördelad på branscher, miljoner ton koldioxid. Källa: SCB Miljöräkenskaperna, [www.mirdata.scb.se](http://www.mirdata.scb.se).**

Bransch	Koldioxid totalt (miljoner ton)	varav Koldioxid process (miljoner ton)
Massa- och pappersindustri	2,2	0,0
Stål- och metallverk	5,0	2,6
Övrig industri	10,2	1,8
Varav Jord och stenvaruindustri	3,3	1,7
<b>Summa</b>	<b>17,4</b>	<b>4,4</b>

Det kan observeras att pappers- och massaindustrin inte är en liten utsläppskälla men att dess andel är betydligt lägre än för energianvändningen, beroende på stor andel biobränslen.

Processutsläppen är koncentrerade till några processer, främst cementtillverkning (inom jord- och stenvaruindustrin) och malmbaserad järn- och stålproduktion. Vid tillverkning av cement och bränd kalk avgår koldioxid vid kalcinering av kalksten, vilket innebär att den sönderdelas till kalk och koldioxid.<sup>28</sup> Utsläppen från järn- och stålproduktion kommer från användning av kol och koks som reduktionsmedel i masugnar.

Enligt egen bearbetning av Energimyndighetens (2007) långsiktsprognoz fram till 2025 antas den specifika energianvändningen i industrin totalt minska med 42 procent från 2004 till 2025. Inom verkstadsindustrin antas den minska med 60 procent, inom järn och stål med 26 procent och inom massa- och papper med 9 procent.

Enligt utsläppsprognosen från Energimyndigheten/Naturvårdsverket (2007) ökar industrins koldioxidutsläpp från förbränning till 12,0 miljoner ton år 2010 och 12,5 miljoner ton år 2020. Koldioxidutsläppen från industrins processer beräknas vara oförändrad till år 2010 men ökar därefter till 5,3 miljoner ton 2020.

<sup>28</sup> Cement tar upp koldioxid under användning i en process som kallas karbonatisering som i princip är den reversibla effekten av kalcinering. Koldioxiden tas upp relativt långsamt och hastigheten beror på bl a vattenhalt i betongen och betongens tjocklek. Om betongen krossas efter användning vilket är vanligt sker dock en hastig karbonatisering. Efter en livslängd på 70 år kan 49 procent av koldioxiden som avgetts vid kalcineringen ha upptagits och efter efterföljande krossning drygt 70 procent. Efter ytterligare tid efter krossning beräknas 73 procent ha upptagits. En annan studie beräknar upptagen mängd efter 50 års användning till 29 procent. (Stripple mfl 2005).

### **2.5.2 Potential för teknikeffektivisering och utbyte av fossila bränslen**

Det är vanskligt att bedöma hur stor potential det finns för energieffektiviseringar i industrin som helhet. Utvecklingen påverkas av ändrad branschstruktur och dessutom påverkas utvecklingen inom branscherna av ett flertal faktorer. Branscherna på den nivå som redovisas ovan är heterogena och innehåller delbranscher med varierande energintensitet. De energiintensiva branscherna papper och massa och järn och stål innehåller anläggningar som använder olika processer, malm- eller skrotbaserad stålproduktion respektive kemisk eller mekanisk massaproduktion. Papper och stål tillverkas i olika kvaliteter med olika marknadspris. Det innebär att den specifika energianvändningen i en bransch påverkas av potentialen för att minska energianvändningen för t ex maskiner, processer mm men också av hur olika delbranscher utvecklas och vilka produkter som tillverkas inom delbranscherna. Potentialen påverkas av att livslängderna för maskiner och anläggningar i delar av industrin är långa och att det kan bli kostsamt att genomföra effektiviseringar i befintlig maskinpark eller genom förtida utbyte.

Inom denna studie har det inte varit möjligt att göra en djupare analys av potentialen att minska industrins specifika energianvändning. De antagandes som görs baserar vi på en genomgång av de studier vi refererar i det följande.

Johansson (1993) redovisar effektiviseringspotentialer för olika användningsområden inom industrin, dock ej för branscher. Skillnaden mellan effektiv teknik och genomsnittligt använd teknik för elanvändning varierar mellan 15 och 60 procent. För de flesta användningsområdena ligger potentialen mellan 40 och 60 procent. För bränsle är motsvarande skillnad 48 procent och för fjärrvärme 20 procent.

Elforsk (1996) bedömer att nya processer inom verkstadsindustrin innebär att energiförbrukningen kan minska med över 50 procent till år 2050 jämfört med idag.

Azar & Lindgren (1998) har analyserat effektiviseringspotentialen inom massa-, pappers- och stålindustrin. Effektiviseringspotentialen för kemisk massa bedöms vara 35 procent minskad bränsleanvändning och för mekanisk massa 30 procent minskad elanvändning. Inom pappersindustrin är effektiviseringspotentialen för bränsle 60 procent och för el 50 procent. Stålindustrins effektiviseringspotential uppskattas till 20 procent för bränsleanvändningen och 12 procent för elanvändningen. Azar & Lindgren beräknar sammantaget effektiviseringarna för dessa tre sektorer till 25 procent för specifik elanvändning och 35 procent för specifik bränsleanvändning till 2050. Azar & Lindgren antar att potentialen för övrig industri är lika stor. Verkstadsindustrins tillväxt och frågan om strukturen på dess framtida produktion påverkar dock energianvändningen i stor utsträckning.

I en delrapport inom projektet SAME (Energimyndigheten, 1998) redovisas energianvändning i industri enl. dagens teknik 1995 och effektiv teknik 2050. Enligt

beräkningen är den specifika energianvändningen för industrin 31 procent lägre med effektiv teknik, 32 procent för el och 29 procent lägre för bränslen. Några uppgifter för olika branscher redovisas ej.

Kommissionen mot oljeberoende (2006) bedömer det som möjligt att minska oljeanvändning inom industrin med 25-40 procent till 2020. Kommissionen bedömer att den icke-energiintensiva industrin i många fall har en potential för eleffektivisering på 40 procent.

Trygg (2006) har genomfört en fallstudie av 30 små och medelstora svenska företag i olika regioner och branscher (dock inga massa- och pappersfabriker eller järn-, stål och metallverk) och kommit fram till en potential för minskad elanvändning på 50 procent.

Energimyndigheten anger att energianvändningen i processindustrin kan minska med 10-40 procent genom processintegration ([www.energimyndigheten.se](http://www.energimyndigheten.se)).

En viktig faktor i detta sammanhang är att det går snabbare att minska den specifika energianvändningen i en bransch som har stark volymtillväxt. Samtidigt ökar de totala utsläppen ändå snabbare än vid en lägre volymtillväxt. Detta gör också att det är vanskligt att utgå från historiska trender vad gäller förbättring av specifik energianvändning om man samtidigt antar en långsammare volymtillväxt, vilket är fallet i de scenarier som presenteras i kapitel 3.

Med underlag från ovanstående genomgång har följande antaganden om den specifika energianvändningen gjorts i de olika scenarierna, se tabell 2.16. I scenario 1 är effektiviseringen som störst vilket beror på en låg tillgång på bioenergi samt en förhållandevis hög varuproduktion med inriktning mot högteknologiska produkter. I scenario 3 är också tillgången på bioenergi låg, men här är varuproduktionen lägre. Att effektiviseringen här ändå antas vara lika stor som i scenario 3, där energipriserna är högre, beror på att tillväxten i industrin här är högre vilket innebär fler nybyggda och effektiva anläggningar.

**Tabell 2.16: Förändring av specifik energianvändning för industriproduktion 2005-2050 i de olika scenarierna.**

	Scenario 1	Scenario 2 och 3	Scenario 4 och 5
Stål- o metallverk, Process	-25%	-20%	-15%
Stål- o metallverk, Bränsle	-35%	-30%	-20%
Stål- o metallverk, El	-25%	-20%	-15%
Massa o papper, Bränsle	-55%	-50%	-40%
Massa o papper, El	-40%	-35%	-25%
Övrig industri, Bränsle	-70%	-65%	-55%
Övrig industri, El	-60%	-55%	-45%

En viktig fråga är i vilken utsträckning det går att substituera fossila bränslen med biobränslen. Azar & Lindgren (1998) antar att fossila bränslen år 2050 endast används för järn- och stålproduktion och således att de kan bytas ut för annan produktion. Vi har i föreliggande studie gjort samma antagande.

På längre sikt kan koldioxidlagring komma att bidra till minskade utsläpp (se även avsnitt under Potential för koldioxidneutral energi i kapitel 2). De energiintensiva branscherna består av relativt få men stora anläggningar vilket kan göra dem lämpliga för att avskilja och lagra koldioxid när den tekniken blir mogen. Vi har i framtidsbilderna för år 2050 antagit att CO<sub>2</sub>-lagring totalt används för ca 20 TWh, fossilt eller biobränslen, i kraftvärmeverk och industri.

## 2.6 Bostäder och lokaler mm

### 2.6.1 Nuläge och trender

Energianvändning i bostäder och lokaler mm står för drygt 30 % av den totala energianvändningen enligt vår avgränsning (exklusive arbetsmaskiner). Utsläppen av växthusgaser från bostäder, service mm, exklusive arbetsmaskiner, var år 2005 ca 3,4 miljoner ton CO<sub>2</sub>-ekv. Detta innebär en andel på ca 4 % av samhällets totala utsläpp av växthusgaser.

Energianvändningen i bostäder och lokaler år 2005 redovisas i tabell 2.17. Totalt, inklusive gatubelysning, drift av kraftverk, fritidshus mm, användes 133 TWh i denna sektor.

**Tabell 2.17: Ytor och energianvändning i bostäder och lokaler 2005. Källor: Ytor och uppvärmning SCB (2006a), hushålls- och driftel SCB (2007)**

Typ av byggnad	Yta miljoner m <sup>2</sup>	Värme och varmvatten (TWh)	Hushålls- och driftel (TWh)	Summa (TWh)	Specifik värme (KWh/m <sup>2</sup> )	Specifik el (KWh/m <sup>2</sup> )
Småhus	260	36,0	10,8	46,8	138	42
Flerbostadshus	165	26,8	10,3	37,1	162	62
Lokaler	165	22,1	18,1	40,2	134	110
Summa	590	84,9	39,2	124,1	144	66

Eftersom 2005 var ett varmare år än normalt ligger den normalårskorrigerade energianvändningen för uppvärmning något högre, 88 TWh. Specifik energianvändning har dock beräknats på den verkliga användningen. Drift- och hushållsel har beräknats genom att total elanvändning för lokaler, flerbostadshus och småhus, enligt uppgifter från SCB (2007), har minskats med elanvändning för uppvärmning enl. SCB (2006 a)

Energianvändningen för uppvärmning redovisas i tabell 2.18 fördelad på energibärare.

**Tabell 2.18: Energianvändning för uppvärmning år 2005 fördelad på energibärare. Källa: SCB (2006a)**

	Olja (TWh)	Fjärrvärme (TWh)	Elvärme (TWh)	Biobränslen (TWh)	Gas (TWh)	Summa (TWh)
Småhus	5,4	3,7	15,3	11,2	0,4	36,0
Flerbostadshus	1,3	23,1	1,7	0,3	0,4	26,8
Lokaler	1,9	15,5	3,6	0,4	0,6	22,1
Summa	8,6	42,4	20,6	12,0	1,4	84,9

Elleveranser till fritidshus var 2005 2,3 TWh. I en tidigare studie (Hedberg m.fl., 2003) beräknades fritidshusens energianvändning år 2000 till 3,3 TWh varav 2,6 till uppvärmning (0,2 olja, 1,8 el och 0,6 biobränslen) och 0,7 hushållsel. Ytorna var 40 miljoner m<sup>2</sup> och specifik energianvändning beräknades till 65 kWh/m<sup>2</sup> för värme och 18 kWh/m<sup>2</sup> för hushållsel.

Enligt Energimyndigheten (2006 a) var energianvändningen för Bostäder och service mm år 2005 144,9 TWh, d.v.s. 20,8 TWh mer än för bostäder och lokaler.<sup>29</sup> I sektorn ingår förutom bostäder och lokaler även fritidshus, areella näringar, byggsektorn, gatu- och vägbelysning, avlopps- och reningsverk samt el- och vattenverk. Arbetsmaskiner som används i areella näringar och byggsektorn ingår t ex i sektorn enligt Energimyndighetens indelning (men är i denna studie överfört till transportsektorn). Enligt Energimyndigheten (2006 a) användes 126 TWh i bostäder och lokaler, 3 TWh i fritidshus, 9 TWh av de areella näringarna och 7 TWh av övrig service. Den ovan beräknade användningen för bostäder och lokaler är därmed ca 2 TWh lägre än Energimyndighetens uppskattning. En orsak kan vara osäkerhet i energistatistiken för byggnader, som bygger på en enkätbaserad urvalsundersökning.

Energianvändningen för övriga ändamål än bostäder, fritidshus och lokaler år 2005 enligt Energimyndigheten ca 16 TWh (Energimyndigheten, 2006a). I underlag till en tidigare studie (Hedberg m.fl., 2003) har energianvändningen för denna grupp år 2000 beräknats till 18,2 TWh, varav 12,4 TWh fossila bränslen, 5,6 TWh el och 0,2 TWh biobränslen. Vi antar att olja i huvudsak används till arbetsmaskiner inom areella näringar och byggsektorn och räknar denna användning till transporter. Övrig energianvändning, 5,6 TWh el och 0,2 TWh biobränslen, räknar vi till bostäder och lokaler mm. Den sammanlagda energianvändningen blir därmed 133,2 TWh varav 83,9 för bostäder, 40,2 för lokaler, 3,3 för fritidshus och 5,8 för övrigt.

I Energimyndighetens (2007) långsiktsprognos antas att den temperaturkorrigerade energianvändningen minskar under perioden 2004-2015 från en temperaturkorrigerad användning på 153,3 TWh till 151,6 TWh. Övergång från olja till värmepump och fjärrvärme och från elvärme till värmepumpar anges vara de viktigaste orsakerna. Under perioden 2015-2025 väntas energianvändningen minska till 147,4

<sup>29</sup> Användningen minskade från 150,1 TWh 2004.

TWh. Energianvändning för uppvärmning och varmvatten minskar. Oljeanvändningen minskar till fördel för fjärrvärme och el. Elanvändningen bedöms öka långsamt under hela prognosperioden och användningen av hushållsel och driftel ökar. I prognosen redovisas inte ytor för bostäder, men antal lägenheter i såväl småhus som flerbostadshus ökar med 16 resp. 17 procent, och lokalytor med 7 procent, vilket innebär att specifik energianvändning sannolikt antas minska. I prognosen redovisas dock inte underlaget så att antagen specifik användning beräknas.

## 2.6.2 Potential för teknikeffektivisering och utbyte av fossila bränslen

I en tidigare studie (Hedberg m.fl., 2003) gjordes en genomgång av effektiviseringspotential till 2050 enligt andra framtidsstudier. Dessa visade på potentialer i form av specifik energianvändning enligt tabell 2.19.

**Tabell 2.19: Antaganden om specifik energianvändning för uppvärmning resp. drift- och hushållsel i bostäder och lokaler 2050. Källa: Hedberg m.fl. (2003)**

Typ av byggnad	Uppvärmning, 2050 KWh/m <sup>2</sup>		Drift och hushållsel, 2050 KWh/m <sup>2</sup>	
	Befintliga	Nybyggda	Befintliga	Nybyggda
Småhus	90-99	30-54	20	20
Flerbostadshus	106-110	40-50	20-40	20-30
Fritidshus	53	45		
Lokaler	70-110	30-50	60	40

Ett antal passivhus d.v.s. hus som är välisolerade och mycket energieffektiva har byggts. Den specifika energianvändningen i passivhusen i Lindås har uppmätts till totalt 68 kWh/m<sup>2</sup> inköpt energi (Ruud & Lundin, 2004). Passivhuskonceptet kan också användas vid ombyggnad av äldre bebyggelse. Ett pågående projekt är Brogården i Alingsås, ett flerbostadshusområde från miljonprogrammet byggt 1970, som genomgår en omfattande upprustning enligt passivhuskonceptet. Målet är att minska specifik energianvändning från 216 kWh/m<sup>2</sup> till 92 kWh/m<sup>2</sup> d.v.s. med mer än 50 procent (Alingsåshem, [www.alingsashem.se](http://www.alingsashem.se)).

Ett varmare klimat kommer sannolikt att ge ett minskat uppvärmningsbehov.<sup>30</sup> Osäkerheterna är stora men vi antar en 10 % minskning av det specifika uppvärmningsbehovet år 2050 på grund av ett ändrat klimat.

För de värmepumpar som används i scenarierna antar vi att årsvärmefaktorn är tre, vilket innebär att för varje kWh el som tillförs så avger värmepumpen 3 kWh värme. Detta är ett relativt konservativt antagande för år 2050 eftersom nya villavärmepumpar redan i dagsläget ligger på denna nivå.

Med underlag från ovanstående genomgång har följande antaganden om den specifika energianvändningen gjorts i de olika scenarierna, se tabell 2.20. I de tre bilderna

<sup>30</sup> Även förändrad molnighet, vindförhållanden och nederbörd påverkar uppvärmningsbehovet.

med låg biobränsletillgång antas högre energipriser och därmed högre incitament för energieffektivisering. I bilderna med mindre materiell konsumtion antas dock en långsammare utbyggnad av bostadsbeståndet vilket dämpar minskningen av specifik energianvändning.

**Tabell 2.20: Förändring av specifikt energibehov (netto tillförd energi d.v.s. ej mätt som köpt energi) för bostäder och lokaler 2005-2050 i de olika scenarierna. I potentialerna är inkluderat en 10% minskning av energibehovet på grund av ett varmare klimat.**

	Scenario 1 & 3	Scenario 2,4 & 5
Småhus, värme	-37%	-32%
Flerbostad, värme	-46%	-41%
Lokaler, värme	-46%	-41%
Elspecifikt	-55%	-45%

När det gäller övergång till förnybara bränslen så är det förhållandevis lätt att genomföra i bebyggelsen och en sådan utveckling pågår idag i snabb takt. Oljeanvändningen i småhus kommer snart att vara marginell och även i fjärrvärmesystemet sker en minskning.

## 2.7 Teknikscenario för energisystemet till 2050 – Räcker det med bättre teknik och ökad tillförsel av koldioxidneutral energi?

För att analysera hur långt det är möjligt att komma med enbart tekniklösningar så har vi tagit fram ett teknikscenario för energisystemet år 2050. I teknikscenariot har vi antagit att väsentliga teknikeffektiviseringar har fått fullt genomslag år 2050 samtidigt som inga försök gjorts för att påverka volymutvecklingen (t ex volymen uppvärmd yta eller resandet) i respektive sektor.

För industriproduktion har använts Energimyndighetens (2007) prognos fram till år 2025 och därefter en halverad ökningstakt fram till 2050. För bebyggelsen har Referensalternativ Trend i Hedberg m.fl. (2003) använts. För vägtrafiken har vi i huvudsak använt Vägverkets (2007) prognos fram till 2050. För personbilstrafiken har vi dock mellan år 2006 och 2020 använt den av SIKAs prognostiserade ökningstakten på 1,3 % per år istället för Vägverkets 0,8 % per år. Anledningen till detta är att Vägverket (2007, s 25) skriver att ”Vägverket har således för effektbedömning och samhällsekonomisk analys utgått från en *mycket försiktig prognos* över trafikutvecklingen.”<sup>31</sup> För flyget finns inga officiella svenska prognoser utom för inrikesflyget som dock bara står för drygt 10 % av svenskars flygresande. Vi har för svenskars totala flygresande antagit att ökningstakten långsamt avtar från 5,5 % per år mellan 2006 och 2010 till 2 % per år framemot år 2050. Detta är en något lägre ökningstakt än vad som prognostiseras för det globala flygresandet (IPCC, 2007).

<sup>31</sup> Kursiveringen är från originaltexten.

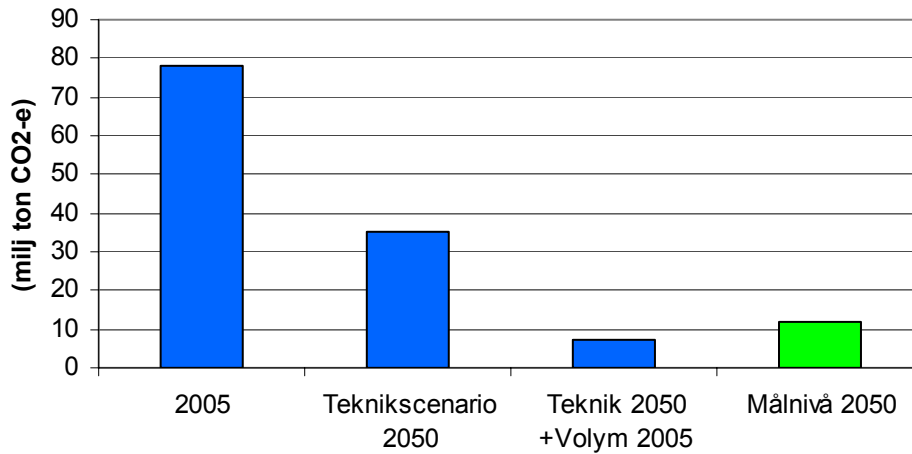
Sjötransporter av gods har antagits öka med 2,5 % per år fram till år 2025 och därefter med 1 % per år. Detta är betydligt lägre än Fabers m.fl. (2007) ”baseline scenario” för globala internationella sjötransporter till 2050. För volymutveckling i övriga transportslag har vi använt referensscenariot för år 2050 från Åkerman & Höjer (2006). I tabell 2.21 visas de viktigaste antagandena om volymutvecklingen i Teknikscenariot för 2050.

**Tabell 2.21: Centrala antaganden om volymutveckling i Teknikscenariot. Siffrorna gäller för hela Sverige och inte per person. Källor: Åkerman & Höjer (2006), Vägverket (2007), Energimyndigheten (2007), IPCC (2007). Se även bilaga 1.**

	2005	2050
Bilresande	100	150
Lastbilstransporter	100	210
Flygresande	100	420
Industriproduktion	100	140-300
Bostadsyta	100	130
Lokalyta	100	165

Tekniknivån som antas 2050 är densamma som visas i tabellerna 2.10, 2.11, 2.16 och 2.20. Högsta effektivisering som antas för något scenario i dessa tabeller har använts här. Vi har för Teknikscenariot vidare antagit den högre nivån på bioenergitillförsel 200 TWh (varav 60 TWh exporteras), och den högre tillförseln av vind- och vågkraft, 45 TWh. För 20 TWh fossilt bränsle (eller biobränsle) har vi antagit att koldioxiden kan samlas upp och lagras på ett säkert sätt. Dessutom används 68 TWh vattenkraft i energisystemet. All efterfrågan på energi utöver dessa volymer antar vi tillgodoses med fossila bränslen utan koldioxidlagring. Dessa antaganden ger en utsläppsnivå för Teknikscenariot som visas i figur 2.3. Trots den kraftiga teknikeffektiviseringen och den förhållandevis höga tillförseln av förnybar energi så ligger utsläppsnivån 190 % över målnivån år 2050.<sup>32</sup> Orsaken är förstas att volymerna av resande, godstransporter, boendeyta och industriproduktion enligt BAU-prognoserna spås öka kraftigt (se tabell 2.21). I Teknikscenariot kan man också notera att biomassan inte räcker till några biobaserade drivmedel överhuvudtaget. Om vi istället hypotetiskt antar att volymerna skulle frysas på dagens nivå samtidigt som teknikeffektiviseringar och tillskott av förnybar energi sker på samma sätt som i det tidigare scenariot, så underskrids målnivån för 2050 (se figur 2.3).

<sup>32</sup> Vi har antagit att all svensk kärnkraft fasats ut fram till år 2050. Om man istället skulle välja att behålla en elproduktion från kärnkraft på 2005 års nivå och vidare antar att hela denna produktion används för att producera väte som ersätter fossila drivmedel i transportsektorn, så kommer utsläppsnivån istället att ligga 100% över målnivån.



Figur 2.3: Utsläpp av växthusgaser i ett Teknikscenario för år 2050 där kraftiga teknikeffektiviseringar genomförts och där man har en väsentligt ökad tillförsel av förnybar energi. Volymerna varuproduktion, resande, boendeyta etc., antas utvecklas enligt dagens "låt gå prognoser" (se texten). Alla staplar inkluderar utrikes flyg och sjöfart (se avsnittet om Systemavgränsning). För flyget är antaget en uppräknig av koldioxidutsläppen med en faktor 2,5 år 2005 och en faktor 2,0 år 2050, för att ta hänsyn till utsläppen av kväveoxider och vattenånga (se avsnittet om Transporter). I figuren visas också ett hypotetiskt scenario där volymerna antas frysta på dagens nivå samtidigt som teknikeffektiviseringar och tillskott av förnybar energi sker på samma sätt som i Teknikscenario 2050. I detta fall så underskrids målnivån för 2050 med marginal.

Även beaktat osäkerheter i våra antaganden, så är det tydligt att bättre teknik och koldioxidneutral energi inte räcker i sig. Det krävs således också att åtminstone *ökningstakten* för inte minst resande, godstransporter och varuproduktion bryts.

## 3 Scenarier för Sveriges energi- och transportsystem till 2050

I detta kapitel presenteras fem stycken scenarier för Sveriges energi- och transportsystem fram till år 2050. De är alla utformade för att nå målnivån för Sveriges energi- och transportsystem på 0,92 ton koldioxidekvivalenter per person till år 2050 (1,15 ton för alla svenska utsläpp) som innebär 87 % minskning jämfört med år 2005. De är också utformade för att nå de mål för energianvändning, 224 respektive 280 TWh, som härletts utifrån utsläppsmålet och en uppskattning av tillgång på koldioxidneutral energi globalt och i Sverige.

Beskrivningarna av scenarierna består av tre delar; framtidsbilder som beskriver läget år 2050, skissartade beskrivningar av möjliga vägar som leder i riktning mot framtidsbilderna samt en diskussion av de strategiska frågor och förändringar som är mest karaktäristiska för respektive scenario. En beskrivning av en framtidsbild för år 2050 och en väg mot denna kallar vi tillsammans för ett scenario. Ett scenario är således en beskrivning av utvecklingen över en viss tidsperiod, medan en framtidsbild (som utgör en del av ett scenario) utgör en ögonblicksbild av tillståndet år 2050.

Utgångspunkter för scenarierna vad gäller energitillförsel samt energieffektivitet hos fordon, bebyggelse och industrianläggningar beskrivs i kapitel 2. Eftersom dessa faktorer beskrivits relativt utförligt där, så har scenariebeskrivningarna i detta kapitel fokus på hur användningen av energi skiljer sig åt mellan scenarierna och vilka energibärare som används. Vi antar att det i alla framtidsbilder har skett en teknikeffektivisering i enlighet med de teknisk-ekonomiska potentialer för olika sektorer som beskrevs kapitel 2. Detta innebär t ex att energianvändningen per person-km år 2050 har minskat med 50-85% för bilar och med 45-55% för flyget. I industrin har den specifika elanvändningen minskat med 15-60% och bränsleanvändningen med 20-70% beroende på industrisektor och scenario. Energianvändningen per kvadratmeter uppvärmd yta har minskat med 32-46%. Teknikeffektiviseringen är något kraftigare i de scenarier där det finns relativt lite biomassa att tillgå, beroende på att energipriserna där blir högre. Det är värt att notera att även i de scenarier som förutsätter en något lägre effektivisering, så krävs det förhållandevis starka styrmedel för att realisera potentialen.

En stor allmän förståelse för klimatförändringarnas allvar och för behovet av kraftfulla åtgärder förutsätts i alla scenarier. Det anses självklart att alla behöver prioritera i sitt sätt att leva, resa och konsumera. Detta är en förutsättning som kräver en attitydförändring.

Sveriges befolkning ökar i alla scenarier från 9,1 miljoner invånare år 2005 till 10,5 miljoner invånare år 2050.

En jämförelse av framtidsbilderna görs i avsnittet efter presentationen av dessa. Dessutom återfinns ett mer utförligt beräkningsunderlag i bilaga 1.

### 3.1 Huvuddimensioner: Beteendemönster respektive tillförsel av bioenergi och annan förnybar energi

De karaktäristiska egenskaper vi valt som särskiljande mellan scenarierna är dels en dimension som handlar om människors sätt att leva, dels tillgång på bioenergi. I den första dimensionen ingår exempelvis tidsanvändning, val av boende, resvanor och konsumtionsbeteenden. Detta kan kallas beteendemönster. Eftersom människors beteendemönster genererar en efterfrågan på olika volymer och mixer av energitjänster, spelar det stor roll hur detta ser ut i framtidens samhälle

Den andra dimensionen handlar om tillgång på koldioxidneutral energi i allmänhet och tillgång på bioenergi i synnerhet. Hur mycket bioenergi som finns att tillgå i framtiden påverkar den totala mängden koldioxidneutral energi som kan användas. Dessutom påverkas fördelningen mellan förnybara bränslen och förnybar direkt elproduktion (i form av främst sol-, vind-, våg- och vattenkraft). Både den totala mängden förnybar energi och fördelningen mellan bränslen respektive el påverkar vilka tekniklösningar som är intressanta. Om exempelvis andelen elproduktion är hög i förhållande till andelen bränslen, så blir det intressantare att elektrifiera transportsektorn och att använda värmepumpar för uppvärmning än om det omvända är fallet. Kombinationerna av dessa variabler genererar i sin tur olika behov av förändrade sociotekniska system. Det kan röra sig om gradvisa förändringar av dessa system eller mer genomgripande systemskiften.

I tabell 3.1 nedan visas hur dimensionerna beteendemönster respektive tillgång på bioenergi kombineras i de olika scenarierna. I scenario 1 och 2 arbetar människor relativt mycket och prioriterar bilinnehav samt en hög materiell konsumtionsnivå när det gäller boendestandard och andra konsumtionsvaror. Långväga flygresande är däremot relativt sett nedprioriterat. I scenario 3 och 4 däremot, prioriteras långväga resor och upplevelser högre än ren varukonsumtion. Konsumtion av tjänster som hantverkshjälp, kroppsvård, kultur- och idrottsevenemang är hög. Beteendemönstren i de fyra första scenarierna har vissa gemensamma drag med dem som dominerar i dagens samhälle, men alla förutsätter ändå stora förändringar i minst ett avseende. Scenario 5 har vissa likheter med 3 och 4 såtillvida att upplevelser prioriteras högre än materiell konsumtion. Dock skiljer detta scenario ut sig från de övriga i det att arbetstiden är lägre. Detta är kopplat till ett lägre tempo i samhället i stort, och faller tillbaka på ett värderingsskifte där fri tid kommit att uppvärderas i förhållande till materiellt konsumtionsutrymme.

Scenarierna illustrerar olika prioriteringar mellan energikrävande aktiviteter. En nödvändig förutsättning i alla scenarier är dock att människor stödjer en politik som gör att de totala utsläppen inte överstiger målnivån. Detta innebär att vissa aktiviteter får väljas bort (detta är förstås fallet även idag, men blir här mer accentuerat beroende på resurs- och miljöskäl).

**Tabell 3.1: Scenariernas dimensioner**

	Högt tempo och materiell konsumtion	Högt tempo och upplevelseinriktad konsumtion	Lägre tempo och upplevelseinriktad konsumtion
Stor global tillgång på bioenergi (80 PWh)	Scenario 2	Scenario 4	Behandlas ej. Minst utmaning att nå målen i detta fall.
Liten global tillgång på bioenergi (25 PWh)	Scenario 1	Scenario 3	Scenario 5

## 3.2 Scenarierna i sammandrag

Tabell 3.2: Mest karaktäristiska drag vid en jämförelse av scenarierna år 2050 med läget år 2005.

	1. Materiell konsumtion i högt tempo /Bio-Låg	2. Materiell konsumtion i högt tempo /Bio-Hög	3. Tjänstekonsumtion i högt tempo /Bio-Låg	4. Tjänstekonsumtion i högt tempo /Bio-Hög	5. Utökad fritid och lägre konsumtion /Bio-låg
Värderingar		Ökad hälsomedvetenhet		Ökad hälsomedvetenhet	
Arbets tid	Som år 2005	Som år 2005	Som år 2005	Som år 2005	25% lägre än år 2005
Resande	Kraftigt minskat flygresande	Kraftigt minskat flygresande	Minskat bilägande och bilresande	Minskat bilägande och bilresande Ökat cykelresande.	Minskat bilägande och bilresande
Typisk konsumtion	Bilar, stor bostadsyta, hemelektronik, båtar, kött&fisk	Bilar, stor bostadsyta, hemelektronik, båtar, mat med stor vegetarisk andel	Flygresor, hämtmat (kött- & fiskrätter), spabesök, bio, hantverkshjälp	Flygresor, hämtmat (vegetariska rätter), spabesök, bio, hantverkshjälp	Tågresor, lokala matråvaror, gördet-själv verktyg och begagnat
"Systemskiften"	- Plug-in-hybrider - Passivhus - Virtuella möten ersätter flyg	- Biodrivmedel för personbilar - Plug-in-hybrider - Virtuella möten ersätter flyg	- Stadsplanering för gång, cykel och kollektivtrafik. - Elektrifierat resande - IT för funktionell tillgänglighet - Delat bilägande	- Stadsplanering för gång, cykel och kollektivtrafik. - Delat bilägande - Biodrivmedel för flyget och personbilar	- Lägre arbetstid och konsumtion - Delat bilägande - Stadsplanering för gång, cykel och cykeltrafik. - Långsammare flyg

**Tabell 3.3: Förändringar av energianvändning, konsumtion, resande, boende mm i scenarierna.**

	2005	1. Materiell konsumtion i högt tempo /Bio-Låg	2. Materiell konsumtion i högt tempo /Bio-Hög	3. Tjänstekonsumtion i högt tempo /Bio-Låg	4. Tjänstekonsumtion i högt tempo /Bio-Hög	5. Utökad fritid och lägre konsumtion /Bio-låg
Svensk energianvändning (TWh):	460	224	280	224	280	224
Bioenergianv. i Sverige (TWh):	112	88	144	95	161	92
Bilresande per person och år (km):	10100	-15%	-15%	-30%	-30%	-30%
Flygresande per person och år (km):	3500	-40%	-30%	+90%	+90%	+90%
Kollektivresande per person och år (km):	500	+45%	+45%	100%	90%	+105%
Godstransporter på lastbil (mdr ton-km):	39	+10%	+10%	-20%	-20%	-30%
Industriproduktion per person:		+45%	+45%	+25%	+25%	+5%
Boyta per person:		+5%	+5%	-5%	-5%	-5%

## 3.3 Scenario 1: Materiell konsumtion i högt tempo/Bio-låg

### 3.3.1 Framtidsbild år 2050

Denna framtid karaktäriseras av en relativt hög materiell konsumtion och en förkärlek för att själv äga de flesta konsumtionsvaror som man använder. Den genomsnittliga arbetstiden för yrkesarbetande är lika hög som år 2005. Delvis känns värderingarna igen från det tidiga 2000-talet, men eftersom det finns en stark medvetenhet om klimatfrågan har de allra flesta människor förändrat sitt sätt att leva för att minska utsläppen av växthusgaser. Inte minst har detta skett genom att de genom sina folkvalda infört en rad styrmedel. Det är en självklarhet att alla behöver prioritera i sitt sätt att leva, resa och konsumera. Majoriteten i detta framtidsscenario har valt att prioritera aspekter kopplade till standard och storlek på bostaden samt varukonsumtion. Att ha egen bil är nästan lika viktigt nu som för 45 år sedan.

Mängden biomassa som används för energiändamål är i detta scenario starkt begränsad. All bioenergi används i kraftvärmeverk och inom industrin. Sverige exporterar också bioenergi till kontinenten, främst Tyskland och Danmark. Andelen intermittent el (främst vindkraft) är i detta scenario hög, ca 30 %, både i Sverige och i Norden. Liksom i de andra scenarierna används CO<sub>2</sub>-lagring för 20 TWh bränsle, både en del fossila bränslen och en del biobränslen.

På grund av den begränsade mängden bioenergi är energipriserna högre i detta scenario (och i scenario 3 och 5) än i scenario 2 och 4 där tillgången på bioenergi är större. Då varukonsumtionen och bilresandet är större i denna framtid än i scenario 3 och 5 så är detta den framtid där den allra största teknikeffektiviseringen genomförts. En annan effekt är att marktransporter till stor del elektrifierats.

#### *Resande*

Mönstren för vardagliga och relativt korta arbets- respektive fritidsresor sker delvis på samma sätt som under det tidiga 2000-talet, med en hög andel privatbilism. Ökningen av bilåkandet bröts dock under 2000-talets första decennium och är nu drygt 40 år senare 15 % lägre per person. De i arbetsför ålder har minskat sitt bilresande i något mindre grad men det kompenseras av en hög andel äldre som reser lite med bil. En del av sådana arbetsresor som år 2005 utfördes med bil har nu ersatts av distansarbete med användarvänlig IT-teknik. Den lokala kollektivtrafiken har ökat sin marknadsandel jämfört med det senaste sekelskiftet, och har också ökat sin elektrifieringsgrad markant i de största städerna. Många lokala bussflottor använder biogas.

Större delen av bilparken består av plug-in-hybridbilar som använder el från nätet eller, vid resor längre än ca 5 mil, diesel eller bensin. Ca 50 % av alla personbils-km som körs i landet utnyttjar el som laddats från det allmänna elnätet. För detta åtgår 5 TWh el. Trots att de förhärskande värderingarna i denna framtid fortfarande

gör det relativt populärt med egen bil, så har delat bilägande ökat något, om än inte alls så mycket som i scenarierna 3-5. Anledningen till att det ändå ökar något även i detta scenario är den förändrade kostnadsbilden för bilresande som bland annat orsakats av plug-in-hybridernas höga marknadsandel. Denna biltyp är dyr i inköpen men har låga driftskostnader när de körs med el laddad från nätet. Detta gör det lönsamt att genom delat bilägande dela på de fasta kostnaderna.

Den kanske största förändringen jämfört med början av seklet rör flygresandet. Det långväga resandet har nedprioriterats av de flesta. Detta innebär inte alls att man i denna framtid är ointresserad av långa flygresor, men den stora probleminsikten i kombination med varukonsumtionens – inte minst bilens – attraktion ger ändå en relativ nedprioritering. Resultatet är ett dramatiskt brott på utvecklingen som den såg ut i början på seklet då flygresandet fördubblades vart femtonde år. Nu år 2050 är flygresandet 40 % lägre per person än det var år 2005. Flygresorna har blivit väsentligt dyrare än tidigare, eftersom flyget nu till skillnad från år 2005 inte längre är undantaget från koldioxidskatt och moms. Dessutom har skatten på klimatpåverkande utsläpp generellt sett höjts betydligt. Det genomsnittliga fritidsresandet med flyg motsvarar en resa Stockholm-London vartannat år eller en resa Stockholm-Thailand vart tionde år. Trots att världssamhället gemensamt lyckats begränsa den globala temperaturökningen till drygt två grader, så innebär det ändå att sommarsäsongen i Norden förlängts betydligt. En stor del av befolkningen i denna framtid har valt att prioritera vistelse i fritidshus i Norden framför att resa på långa utlandsresor. Tåg- och bilsemestrar i norra Europa är också vanliga. De solresor som ändå sker på vintern går numer ofta till Medelhavsområdet istället för Thailand eller Västindien, eftersom vintrarna vid Medelhavet nu erbjuder ett behagligt klimat.

När det gäller arbetsmöten har virtuell mötesteknik fått ett genombrott vilket medfört en betydande minskning av tjänsteresandet med flyg. Flyget använder nästan enbart fossilt flygbränsle eftersom det är ont om biomassa och flygindustrin inte kunnat enas om en samordnad övergång till väte.

### *Produktion, konsumtion och godstransporter*

Merparten av människorna i detta framtidsscenario sätter varukonsumtion högt upp på prioriteringslistan. Dock har det skett en betydande förändring i mixen av de varor som konsumeras mot en allt lägre energianvändning per krona. Exempelvis har högteknologiska miniatyriserade varor, ökat sin andel kraftigt. Industriproduktionen av stål har ökat med 10 % och produktionen av papper och massa har ökat med 5 % sedan sekelskiftet, medan övrig industriproduktion ökat med drygt 70 %. Denna ökningstakt är avsevärt lägre än vad som förutspåddes i de sista prognoserna som gjordes innan klimatproblematiken hamnade i fokus år 2006/2007, men samtidigt högre än i de andra scenarierna. Dock har det skett en betydande strukturrationalisering världen över utom i de allra fattigaste länderna som fortfarande håller på att bygga upp sin infrastruktur. Detta innebär en förskjutning i konsumtionen från energi- och materialintensiva produkter mot mer förädlade och miniatyriserade

produkter. Vägar och järnvägar utnyttjas dessutom bättre genom differentierade avgifter och satellitbaserade positioneringssystem, vilket kraftigt minskat behovet av energikrävande nybyggnationer, speciellt vägar. Graden återvinning av material har ökat vilket bidragit till att begränsa energianvändningen i industrin. Detta gäller inte minst i stålindustrin och i pappersindustrin. I denna framtidsbild kan man dessutom se vissa tecken på en faktisk utveckling mot ”det papperslösa samhället”. Det beror dels på att hela den arbetsföra delen av befolkningen växt upp under IT-eran, men också på att produktiv mark och biomassa blivit bristvaror vilket lett till dramatiska prishöjningar på pappersråvara. Industrin har ersatt merparten av sina fossila bränslen med biobränslen. Ett undantag utgör stålindustrin som fortfarande använder närmare 10 TWh kol.

Turistindustrin i Sverige har fått ett uppsving trots att vinterturismen mer än halverats på grund av snöbrist. Ökningen av utländska besökare under sommarhalvåret har varit stor de senaste decennierna. Det är främst välbärgade resenärer från Medelhavsområdet som flyr till norra Europa från hemländernas besvärliga sommarvärme. Västkusten, Skåne, Öland och Gotland hör till de mest populära områdena och huspriserna har där gått i höjden.

Godstransporterna är högre i denna framtid än i scenario 3, 4 och 5. Den lokala distributionen av mat och andra produkter sker till stor del med hybridlastbilar som har kapacitet att köra 5-10 mil på el som laddats från nätet (d.v.s. utan att slå på förbränningsmotorn). Långväga godstransporter har delvis överförs till järnväg. Lastbilar som kör i långväga trafik använder fortfarande nästan enbart fossil diesel eftersom tillgången på biomassa är starkt begränsad.

Både i Sverige och globalt består den genomsnittliga kosten till stor del av kött- och fiskprodukter. Detta är en starkt bidragande orsak till att det finns lite mark tillgänglig för produktion av biobränsle.

### *Bebyggelse*

I boendet prioriteras en hög standard både vad gäller inventarier och vad gäller yta. Den genomsnittliga boendeytan har ökat med 5 % per person, vilket, med hänsyn taget till befolkningsökningen, innebär att total boendeyta ökat med 20 %. Jämfört med scenario 3, 4 och 5 är det en något större andel fristående hus i detta scenario. Skillnaden gentemot år 2005 är dock obetydlig. Inte minst beroende på den begränsade tillgången på biobränsle så har mycket stora energieffektiviseringar genomförts i bostadsbeståndet. Detta innebär att merparten av den år 2005 befintliga bebyggelsen genomgått åtgärder, t ex tilläggsisolering, byte av fönster mm, vilket har minskat energibehovet med 30-40%. Till detta ska läggas att det förändrade, varmare klimatet, minskat uppvärmningsbehovet med ca 10 %.<sup>33</sup>

---

<sup>33</sup> På detta område finns en betydlig osäkerhet. Högre temperatur kan i viss mån komma att motverkas av mindre snö (som isolerar), mera regn och framförallt mer blåst.

De flesta småhus men även en del flerbostadshus och lokaler värms med värmepumpar. Egen ved står för 5 TWh av småhusens uppvärmningsbehov. Fjärrvärmens står för två tredjedelar av uppvärmningen av lokaler och flerbostadshus. Biobränsleeldade kraftvärmeverk dominerar fjärrvärmeproduktionen, men 6 TWh solvärme ger också ett ansenligt tillskott. Fjärrvärmeproduktionen är bara drygt hälften så stor som år 2005.

### **3.3.2 Den historiska utvecklingen mellan 2007 och 2050 i korthet**

#### *Tillbakablick från år 2010*

Ett viktigt styrmedel som nyligen införts är en kombination av subventioner av bränslesnåla nybilar och avgifter på de mer bränslekrävande nybilarna. Skatten på bensin och diesel höjdes också något. En förutsättning för dessa beslut var den starkt ökande medvetenheten om klimatförändringarnas allvar både bland medborgare, näringsliv och politiker.

Oljeanvändningen i småhus har i stort sett helt försvunnit. Även användningen i fjärrvärmesystemen har minskat kraftigt. Tillsammans motsvarar den minskade fossilbränsleanvändningen i bebyggelsen en minskning av Sveriges totala utsläpp med ca 5 %.

#### *Tillbakablick från år 2020*

Den introduktion av biodrivmedel som inleddes kring sekelskiftet kom av sig under seklets andra decennium i och med att den globala konkurrensen om odlingsbar mark ökade och priserna på biodrivmedel därmed sköt i höjden. En av flera bidragande faktorer till detta var den starkt ökande animaliekonsumtionen världen över, inte minst i Indien och Kina.

När inte biomassan verkade räcka till några drivmedel överhuvudtaget, så skiftade fokus till energieffektivare fordon. Mycket kraftiga styrmedel infördes under 2010-talet. Bränslekrävande bilar fick en dramatiskt ökad inköpsskatt medan subventionerna för snåla bilar förstärktes.

År 2011/2012 fasades flyget in i EUs system med utsläppsrätter. Fem år senare stod det klart att det var svårt att hållbara den konkurrensutsatta industrin och flyget inom samma utsläppsbubbla. När EU gjorde försök att sänka mängden utsläppsrätter blev kostnaden för hög för den konkurrensutsatta energiintensiva industrin. Flyget plockades därför ur systemet och en EU-gemensam skatt på flygets beräknade utsläpp av växthusgaser (per flygning) infördes. Dessutom avvecklades flygets undantag från att betala moms. En skatt på (beräknade) utsläpp infördes också på sjöfartens utsläpp.

För att bättre hushålla med de knappa bioenergiressurerna infördes en energiskatt på biobränslen efter 2010. Detta gjorde bland annat att pelletsanvändningen i småhus minskade.

År 2011 kom den första plug-in-hybriden ut på marknaden och 2014 följde Volvo och Saab efter det japanska exemplet. Strax efter infördes statliga subventioner för inköp av plug-in-hybrider med en räckvidd i ren eldrift på minst 5 mil. I de system med miljö- och trängselavgifter som införts i de tre storstadsområdena avskaffades undantagen för biobränsle drivna bilar redan år 2011. Från och med 2017 blev istället eldrivna fordon undantagna från avgifter, under förutsättning att enbart el från nätet användes.

#### *Tillbakablick från år 2030*

Obligatoriska energikrav har införts i byggnormerna. En stor andel av nybyggena utgörs av så kallade passivhus, d.v.s. hus som ej behöver något dedikerat värmesystem. Pelletsanvändningen i småhus är nu marginell. Andelen plug-in-hybrider i bilparken är nu 30 %.

#### *Tillbakablick från år 2040*

Nu består 60 % av bilparken av plug-in-hybrider. I Norrland är andelen lägre vilket dels beror på större andel långa körsträckor och dels på att klimatet ger ett större behov av värme i bilarna. Bilar med dieselmotorer med eller utan hybridfunktion är där vanligare.

### **3.3.3 Strategiska frågor och förändringar**

Detta scenario förutsätter en kraftfull förändring i många avseenden. Även om människor prioriterar boendestorlek och -standard, samt annan varukonsumtion, så förutsätts ändå att en påtaglig avvikelse sker även på dessa områden jämfört med de trender som rådde under 2000-talets tidiga år. Bilresandet per person har i detta scenario sjunkit med 15 % i förhållande till år 2005, trots att detta (tillsammans med scenario 2) är det scenario som innefattar mest bilresande. Eftersom ett begränsat bilresande är än mer typiskt för scenarierna 3-5 så behandlas detta område under scenario 3.

Den i detta scenario sannolikt allra största utmaningen är hur utvecklingen av flygresandet skulle kunna vändas, från en snabb ökningstakt i början av seklet, till en minskning med 40 % per person mellan år 2005 och år 2050. Två andra utmaningar som karaktäriserar detta scenario diskuteras också nedan; dels den mycket kraftiga teknikeffektivisering som förutsätts i alla samhällssektorer och dels frågan om ett mer specifikt teknikskifte för privatbilismen.

### *Minskat flygresande*

I denna framtidsbild förutsätts att flygresandet har minskat med 40 % år 2050 jämfört med idag. Det minskade flygresandet antas delvis orsakas av en ny prisbild, och delvis av generellt förändrade värderingar och ett allmänt ökat behov av att prioritera mellan de aktiviteter som medför en hög energianvändning. Idag betalar flyget inga klimatskatter för utsläppen från internationella flygningar och inte heller tas någon moms ut på sådana resor. Eftersom det är svårt att hitta goda skäl till att behålla dessa undantag, som har historiska orsaker, så kan det finnas vissa möjligheter att få gehör hos medborgarna för ett införande av en sådan skatt. Å andra sidan är det många som idag utnyttjar billiga flygresor och därför krävs det sannolikt en viss politisk fingertoppskänsla för att lyckas.

Trots att den inhemska acceptansen inte är självklar så finns dock ett hinder som kan vara svårare att komma förbi, åtminstone det närmaste decenniet. Eftersom marknaden för flygresor till stor del är internationell (80-90% av svenskars flygresande år 2005 gick utrikes) krävs, för att få en påtaglig effekt, att en beskattning eller kostnad för utsläppsrätter slår igenom i ett större geografiskt område, t ex inom EU. Ett påtagligt hinder är här de politiska och praktiska svårigheter som förknippas med internationella överenskommelser, någonting som vi återkommer till i kapitel 4 nedan. Detta illustreras av det förslag som lagts av EU-kommissionen om att flyget från 2011/2012 ska inlemmas i EU:s system för utsläppsrätter. Medan större delen av flygsektorn är positiva till förslaget så är inte USA och inte heller den energiintensiva industrin i EU lika entusiastiska.

En del av flygresandet har i framtidsbild 1 ersatts med snabb- och sovtågsförbindelser och en betydande del har ersatts med virtuella möten med IKT. Koordineringen av internationella järnvägsförbindelser inom Europa är en betydande utmaning som behöver hanteras så att smidiga förbindelser för person- och godstrafiken kan åstadkommas. Både den tekniska och organisatoriska integreringen av Europas järnvägar behöver därför påskyndas.

### *Mycket kraftig teknikeffektivisering i alla sektorer*

I alla fem scenarier krävs stora energieffektiviseringar genom tekniska åtgärder (och dessutom betydande beteendeförändringar). I scenario 1 är dock kravet på teknikeffektiviseringar som allra störst. En viktig faktor i detta sammanhang handlar om ledtider i utbytet av bilar, flygplan, fartyg, bebyggelse, industrianläggningar etc. Bebyggelsen har mycket lång livslängd, industrianläggningar något kortare men ändå ofta 30-50 år. Från ritbordet till en total förnyelse av hela flottan av fordon/farkoster tar det för flyget närmare 50 år och för personbilar ca 25 år. Dessa trögheter pekar på vikten av att redan nu ge ett tydligt budskap till alla sektorer att mycket hög energieffektivitet kommer att vara en förutsättning att klara sig i en framtid med bland annat dramatiskt höjda energipriser.

Det finns dessutom fler mer specifika hinder och utmaningar i respektive sektor. En viktig sådan gäller utvecklingen mot radikalt bränslesnålare bilar (plug-in-

hybrider diskuteras i nästa avsnitt). För detta krävs en kombination av hybriddrift, bättre aerodynamik, däck med lägre rullmotstånd och lättare bilar. Hybriddrift börjar nu få ett genombrott på marknaden även om den medför en väsentlig kostnadsökning. När det gäller fordonens vikt så går dock utvecklingen fortfarande åt fel håll. Med hänvisning till kundernas ökade komfort- och säkerhetskrav så blir bilparken allt tyngre. Åtminstone när det gäller säkerheten så ger ökad tyngd för den egna bilen, utöver en viss miniminivå, enbart förbättrad säkerhet på bekostnad av betydligt sämre säkerhet för de andra trafikanter man eventuellt kolliderar med. Det finns därför goda skäl, både ur miljö- och säkerhetssynpunkt, att minska antalet tunga bilar. Ett specifikt hinder på den svenska marknaden är att Volvo och Saab av tradition tillverkar tunga bilar. Att ändra på detta utgör en viktig utmaning.

#### *Teknikskifte: plug-in-hybrider för korta personresor*

När det gäller det vardagliga resandet med bil till och från arbete, i samband med fritidsaktiviteter och service etc., förutsätts i detta scenario att resor som är mindre än fem mil till stor del kan genomföras genom att använda el i stället för diesel eller bensin. Ett genombrott för plug-in-hybrider är således en viktig grundförutsättning i denna framtidsbild.

Den förväntade ökade medvetenheten om klimatförändringarna utgör en grundförutsättning för att detta teknikskifte skall kunna äga rum. Men det krävs också att den nya tekniken och biltypen är en så pass bra produkt att människor inte upplever det som någon uppoffring att byta ut sin bensinbil mot en plug-in-hybrid, och inte minst att de totala kostnaderna är acceptabla. Plug-in-hybrider kräver större batterikapacitet än vanliga hybrider, som t ex Toyota Prius, och kommer att vara ännu dyrare i inköp än dessa. Däremot ska ställas att de sannolikt blir mycket billiga i drift.

Det höga priset, i kombination med den osäkerhet som ny teknik alltid förknippas med, kan utgöra en betydande tröghet för det systemskifte som skrivs in i scenario 1. Ett sätt att påskynda ett tekniskifte kan handla om att göra en samordnad teknikupphandling för att sätta krav på bilproducenterna samtidigt som man garanterar den som vinner upphandlingen en viss initial försäljningsvolym. Detta skulle möjligen kunna samordnas på EU-nivå. Statliga lån som omfördelar kostnaderna över tiden, så att den höga inköpskostnaden delvis kan förskjutas i tiden och betalas när man annars enbart skulle betala de låga driftkostnaderna, är också tänkbart.

En fördel med plug-in-hybrider är att när man väl äger bilen ger alternativet att köra på el alltid mycket lägre förbrukningskostnad än att köra på diesel eller bensin. Detta skulle alltså innebära att människor, när de väl äger en ladd-hybrid, alltid kan förutsättas välja eldrift då det är möjligt. Detta är en skillnad mot dagens flexi-fuel-bilar vars bränslekostnad ofta bara är marginellt lägre än för bensin, och tidvis till och med högre.

## 3.4 Scenario 2: Materiell konsumtion i högt tempo/Bio-hög

### 3.4.1 Framtidsbild år 2050

Denna framtidsbild karaktäriseras i huvudsak av samma beteendemönster gällande konsumtion och resvanor som råder i scenario 1. Det skiljer sig dock från detta vad gäller människors kostvanor. Andelen animaliska livsmedel som konsumeras i Sverige har här minskat betydligt jämfört med 2005, i linje med den globala utvecklingen.<sup>34</sup> Den minskade globala animaliekonsumtionen har varit en förutsättning för den i detta scenario relativt höga globala produktionen av biomassa för energiändamål. Energipriserna är betydligt högre än vid sekelskiftet men något lägre än i scenario 1. Sverige exporterar också mindre biobränsle jämfört med scenario 1.

#### *Resande*

Precis som i scenario 1 så prioriteras varukonsumtion och bilresande i detta scenario och även här minskar bilresandet med 15 % per person trots denna prioritering. En del av sådana arbetsresor som år 2005 utfördes med bil har nu ersatts av distansarbete med användarvänlig IKT (Informations- och kommunikationsteknologi). Den lokala kollektivtrafiken har ökat sin marknadsandel jämfört med år 2005, och har också ökat sin elektrifieringsgrad markant i de största städerna.

Den högre tillgången på biomassa ger andra förutsättningar än i scenario 1. Här finns utrymme för att använda biobränsle även för delar av transportsektorn. Flytande drivmedel från biomassa, främst metanol och DME, används till stor del av personbilar, men även fossila bränslen förekommer. Hybrider med en liten avancerad kolvmotor är det vanligaste fordonskonceptet. Plug-in-hybrider som använder nätel står för ca 40 % av bilresandet jämfört med 50 % i scenario 1. Många lokala bussflottor använder biogas.

Flygresandet har minskat med 30 % per person jämfört med år 2005, vilket är något mindre än i scenario 1 men ändå ett kraftigt trendbrott. Då flyget nu, till skillnad från vid sekelskiftet, även betalar klimatskatter och moms har priserna på flygresor stigit väsentligt. Det genomsnittliga fritidsresandet med flyg motsvarar en resa Stockholm-Milano vartannat år eller en resa Stockholm-Thailand vart åttonde år. Trots att världssamhället gemensamt lyckats begränsa den globala temperaturökningen till drygt två grader, så innebär det ändå att sommarsäsongen i Norden förlängts betydligt. Liksom i scenario 1 har en stor del av befolkningen i denna framtid valt att prioritera vistelse i fritidshus i Norden framför att resa på långa utlandsresor. Tåg- och bilsemestrar i norra Europa är också vanliga. De solresor som ändå sker på vintern går numer ofta till Medelhavsområdet istället för Thailand eller Västindien, eftersom vintrarna vid Medelhavet nu erbjuder ett behagligt

<sup>34</sup> Många delar av världen som åt mycket lite animalier kring år 2000 har dock ökat sin andel animalisk föda. Den genomsnittliga mängden animalisk föda har dock stabiliserats på en i jämförelse med scenario 1 och 3, låg nivå.

klimat. Trots den större tillgången på biobränsle i detta scenario jämfört med scenario 1 använder flyget nästan enbart fossilt bränsle. Detta beror på att den höga varukonsumtionen i detta scenario driver upp industrins användning av biobränslen.

Hälsomedvetandet har lett till att cykelresandet ökat med 200 % sedan år 2005, så att det nu drygt fyrtio år senare ligger på samma nivå som det gjorde i Danmark och Holland kring sekelskiftet. I stads- och trafikplaneringen har de senaste decennierna stora insatser gjorts för att förbättra förutsättningarna för cykelresandet.

### *Konsumtion, produktion och godstransporter*

Som nämnts har människor i denna framtidsbild minskat sin animaliekonsumtion, både globalt och i Sverige. Detta har till största delen skett genom att de som äter blandad kost har skurit ner på andelen kött och fisk, och endast till mindre del genom att antalet vegetarianer har ökat. Den allmänna insikten om klimatförändringar och matvarors energibelastning, liksom det ökade hälsomedvetandet ligger bakom denna utveckling.

Merparten av människorna i detta scenario sätter varukonsumtion högt upp på prioriteringslistan. Dock har det liksom i scenario 1 skett en betydande förändring i mixen av de varor som konsumeras mot en allt lägre energianvändning per krona. Exempelvis har högteknologiska miniatyriserade varor, ökat sin andel kraftigt. Industriproduktionen av stål har ökat med 10 % och produktionen av papper och massa har ökat med 5 % sedan sekelskiftet, medan övrig industriproduktion ökat med drygt 70 %. Denna ökningstakt är avsevärt lägre än vad som förutspåddes i de sista prognoserna som gjordes innan klimatproblematiken hamnade i fokus år 2006/2007, men samtidigt högre än i de andra scenarierna. Industrin använder nu enbart biobränslen, med ett undantag. Stålintustrin använder fortfarande närmare 10 TWh kol.

Turistindustrin i Sverige har fått ett uppsving trots att vinterturismen mer än halverats på grund av snöbrist. Ökningen av utländska besökare under sommarhalvåret har varit stor de senaste decennierna. Det är främst välbärgade resenärer från Medelhavsområdet som flyr till Norra Europa från hemländernas besvärliga sommarvärme. Västkusten, Skåne, Öland och Gotland hör till de mest populära områdena och huspriserna har där gått i höjden.

Godstransporter med lastbil och fartyg har liksom i framtidsbild 1 ökat med 25 %. Detta innebär ändå att den snabba ökningstakten som rådde i början på 2000-talet har brutits. Godstransporter på järnväg har ökat med 60 %. Långväga lastbilstrafik använder fossil diesel. Distributionslastbilar är av typen plug-in-hybrid och kör i tätorter enbart på eldrift. Sjöfarten använder liksom i scenario 1 fortfarande nästan enbart fossil bunkerolja.

### *Bebyggelsen*

Den genomsnittliga boendeytan har liksom i scenario 1 ökat med 5 % per person, vilket, med hänsyn taget till befolkningsökningen, innebär att total boendeyta ökat med 20 %. Energieffektiviseringar har genomförts i befintlig bebyggelse men dessa är inte riktigt lika långtgående som i scenario 1, vilket beror på den högre tillgången på biobränslen.

I stort sett alla flerbostadshus och lokaler utnyttjar fjärrvärme. Denna produceras framförallt med biobränsleeldade kraftvärmeverk som producerar 20 TWh el och 35 TWh värme. Solvärme bidrar också med 5 TWh. I småhus används till största delen värmepumpar, men biobränslen (främst ved) bidrar med 6 TWh.

### **3.4.2 Den historiska utvecklingen mellan 2007 och 2050 i korthet**

#### *Tillbakablick från år 2010*

Oljeanvändningen i småhus har fasats ut helt. Nyligen infördes en kombination av subventioner av bränslesnåla nybilar och avgifter på bränslekrävande bilar.

#### *Tillbakablick från år 2020*

Utvecklingen mot förnybara fordonsbränslen har fortsatt men något ändrat riktning. EU tillåter nu 10 % inblandning av etanol i bensin. Etanolen kommer fortfarande till stor del från sockerrörsodlingar i länder som Brasilien. När det gäller alternativbränsle drivna fordon har metanol och DME tagit marknadsandelar från etanol-fordon. År 2016 startades storskalig produktion av dessa bränslen från svartlut. Kring 2015 fasades de sista fossila bränslena ut från fjärrvärmesystemen.

Hälsotrenden har fått genomslag i stora befolkningsgrupper. Försäljningen av kött har minskat med 15 % och cyklandet har ökat med 80 %.

År 2011/2012 fasades flyget in i EU:s system med utsläppsrätter. Fem år senare stod det klart att det inte var lämpligt att härbärgera den konkurrensutsatta industrin och flyget inom samma utsläppsbubbla. Flyget plockades därför ur systemet och en EU-gemensam skatt på flygets beräknade utsläpp av växthusgaser (per flygning) infördes. Dessutom så avslutades flygets undantag från att betala moms. En skatt på (beräknade) utsläpp infördes också på sjöfartens utsläpp.

#### *Tillbakablick från år 2030*

Industrins ersättande av fossila bränslen med biobränslen har accelererat under det senaste decenniet. Cyklandet har nu ökat med 200 % och ligger på samma nivå som det gjorde kring år 2000 i Danmark och Nederländerna. Metanol används nu som drivmedel för ca 20 % av personbilsresandet.

### *Tillbakablick från år 2040*

Metanol används nu som drivmedel för ca 30 % av personbilsresandet. Eldrift för plug-in-hybrider står för 20 % av bilresandet och fossila bränslen för resten.

### **3.4.3 Strategiska frågor och förändringar**

I detta avsnitt fokuseras en av de förutsättningar som framstår som särskilt viktiga i detta scenario; det gäller den generella förändringen av kostvanor. Andra utmaningar som är centrala i detta scenario är de tre som redan beskrivits under strategiska frågor för scenario 1. Diskussionen som förs där gäller också i huvudsak för detta scenario. Ytterligare en strategisk fråga eller utmaning som är viktig för detta scenario handlar om den förhållandevis storskaliga introduktionen av biodrivmedel i vägsektorn. Andelen biodrivmedel i vägsektorn, och i transportsektorn som helhet, är dock något högre i scenario 4 varför diskussionen kring denna fråga förs i anknytning till det scenariot.

#### *En ändrad kosthållning*

Människors kostval globalt och i Sverige är en strategisk fråga i detta scenario. Kunskap och information kan spela en viss roll för den ökade konsumtion av vegetarisk mat som förutsätts i detta scenario. Den grundläggande utgångspunkten om att människor i allmänhet är mer intresserade och engagerade i klimatfrågan kan utgöra en drivkraft för detta. En viktig förutsättning är dock att det finns kunskap och lättillgänglig information om olika kostvals klimatbelastning.<sup>35</sup>

Ekonomiska styrmedel är dock sannolikt än viktigare. I väntan på effektiva internationellt täckande styrmedel kan möjligen en klimatskatt på varor med uppenbart hög klimatpåverkan övervägas. I den mån ekonomiska styrmedel slår igenom kan den påverka prisbilden för t ex matvaror som importerats med flyg. Dock kommer inte endast importerade livsmedel att bli föremål för prishöjning; det gäller också till exempel svenska grönsaker som drivits upp i växthus uppvärmda med fossila bränslen,<sup>36</sup> eller generellt för matvaror som kräver en hög andel energi i produktionen.

Ett grundantagande för detta scenario är att förändringen i människors kost delvis styrs av ett ökat engagemang i klimatfrågan, men även en ökad hälsomedvetenhet. Influenser från andra kulturers mattraditioner kan också vara en pådrivande faktor. När det gäller hälsomedvetenheten krävs att det finns kunskap och information hur kosten påverkar hälsan för att detta skall få genomslag i människors kosthållning. Folkhälsoarbete, information och upplysning antas ha viss betydelse. En grundläggande osäkerhet rör dock hur och på vilket sätt information och upplysning verkligen påverkar människors kostval. Måltider och kost handlar inte bara om näringsintag och hälsoeffekter i strikt fysiologisk bemärkelse, utan är lika mycket

<sup>35</sup> Den klimatmärkning av matvaror som i skrivande stund håller på att utvecklas och implementeras (exempelvis genom KRAV, [www.krav.se](http://www.krav.se)) kan vara ett viktigt sorts instrument för detta.

<sup>36</sup> Det kan även gälla om de uppvärmts med biobränslen eftersom energitillgången kommer att utgöra en viktig begränsning.

en social och kulturell fråga. Vad man äter varierar mellan olika grupper och subkulturer, det kan vara en fråga om tajming, tid och rena impulser. Matvanor är dessutom i allra högsta grad en marknadsfråga; utbudet av mat och dess pris, påverkar vad vi äter. Trender och moden inom restaurangvärlden kan ha stor betydelse för hur människor ändrar sin kosthållning. Viktigt är också vilka idéer och impulser som kommuniceras via kokböcker, tidningar, teve och annan populärkultur.

## 3.5 Scenario 3: Tjänstekonsumtion i högt tempo/Bio-låg

### 3.5.1 Framtidsbild år 2050

Jämfört med framtidsbild 1 och 2 präglas denna framtid av mindre fokus på att själv äga saker och ett större fokus på tjänster och upplevelser. En antydning till denna utveckling fanns redan i början av det tjugoförsta seklet men nu har den blivit dominerande i samhället. De flesta vill inte låsa upp sig med egna ägodelar som bara används sällan, men som ändå kostar pengar och tar tid att ta hand om. Att hyra vid behov eller dela ägodelar med andra (t ex båtar, bilar, tvättmaskiner etc.) är vanligt. Eftersom arbetstiden är lika hög som vid sekelskiftet så är konsumtionsutrymmet relativt stort.<sup>37</sup> Konsumtionen av personliga tjänster, restaurangbesök, kultur- och idrottsevenemang, spabesök, hemstädning etc., är hög. Även det långväga resandet med flyg och tåg är högt prioriterat.

Tillgången på bioenergi är globalt sett låg. Detta beror till stor del på att utvecklingsländer, inte minst Indien och Kina, kraftigt ökat andelen animalisk föda i sin kost, vilket orsakat ett ökat behov av mark för matproduktion. En bidragande faktor är att människor i de mest välbärgade länderna värderar upplevelseresor till opåverkade naturområden högt. En stor del av Sveriges produktion av biobränsle exporteras till kraftvärmeverk i Danmark och på kontinenten. Vindkraftverk producerar i Sverige 40 TWh och vågkraft 5 TWh. Mängden el från solceller är marginell.

#### *Resande*

Flygresandet har ökat med 90 % per person i förhållande sekelskiftet, vilket ändå innebär en avsevärt lägre nivå än vad som då prognostiserades för år 2050 (ca 265 % ökning). Klimatskatter och moms betalas nu även av flyget. Fritidsresorna har ökat mer än affärsresorna på grund av att allt fler utnyttjar virtuella arbetsmöten istället för att resa till samma plats. Ett annat alternativ till flygresande snabbtåg har förbättrats, bland annat genom banutbyggnader i södra halvan av Sverige. Standarden på sovtåg både till Norrland och kontinenten har också lyfts betydligt, samtidigt som direkttågen ökat i antal. På grund av den låga tillgången på biobränsle globalt sett drivs flyget fortfarande nästan enbart med fossilt bränsle. Detta gör att

<sup>37</sup> Den ekonomiska tillväxten är dock något mindre i denna framtid (och i scenario 4) jämfört med scenario 1 och 2, på grund av att mycket personliga tjänster konsumeras. Dessa går inte att effektivisera lika mycket som varuproduktionen som är förhärskande i scenario 1 och 2.

flygets utsläpp av växthusgaser (inklusive kväveoxider och vattenånga) står hälften av de totala utsläppen från energirelaterade verksamheter.

Det totala svenska bilresandet är i denna framtid 20 % lägre än det var år 2005 samt framtidsbilderna 1 och 2. I större städer är minskningen ännu större, medan den är marginell på landsbygden. En orsak till det låga bilresandet är att nybyggnation i tätorter alltsedan år 2010 konsekvent lokaliserats tätt kring noder i kollektivtrafiknätet eller som utvidgningar av städernas täta innerstäder (speciellt i Stockholm).<sup>38</sup> Detta har nu efter 40 år givit ett påtagligt resultat, både i kortare resavstånd (regionförstoring verkar dock åt andra hållet) och en sjunkande andel bilresor. Även betydande utbyggnader av spårtrafiken i större tätorter samt en generell stark prioritering av framkomligheten för gång- cykel- och kollektivtrafik har bidragit till detta.

Att fokus i samhällsplaneringen nu fokuserar på funktionell tillgänglighet i första hand – och ser mobilitet som ett av flera sätt att nå dit – tar sig också uttryck i att en stor del av resandet har kunnat ersättas med virtuella möten. En stor del av arbetskraften arbetar på distans 1-3 dagar i veckan och tjänsteresandet med flyg har minskat i väsentlig grad. Bieffekter av denna utveckling är att hushållen sparat restid och att företagen sparat pengar genom att de anställdas arbetstid i mindre utsträckning förspills på onödigt resande.

Då de flesta bryr sig mindre om eget ägande har bilpooler (kommersiella och ideella) och biluthyrning blivit populärt. Detta faktum har också påverkat bilparkens sammansättning. Även i denna framtid finns det en stor andel plug-in-hybrider. Men det finns här till skillnad från i scenario 1 och 2 relativt många små tvåsitsiga elbilar som främst är anpassade för resor i städernas ytterområden. Bland de bilar som disponeras av bilpooler och biluthyrningsföretag finns en hel del bränslesnåla långfärdsbilar. Plug-in-hybrider i eldriftsläge eller små batterielbilar står för 45 % av allt bilresande. För detta åtgår ca 4 TWh el. Resterande bilresor sker med bio-bränslen, främst DME och metanol. Lokala bussflottor, sopbilar etc., använder i stor utsträckning biogas. Det minskade intresset för bilägande innebär att hushållens totala bilkostnader minskat men samtidigt att de rörliga kostnaderna för bilåkande är högre.<sup>39</sup> Detta har i sin tur lett till bättre konkurrenskraft för kollektivtrafiken som har mer än fördubblats i landet som helhet. Dock är bilresandet i landet som helhet fortfarande större än kollektivresandet, vilket beror på att bilen inte kan ersättas av kollektivtrafik i mindre orter och i glesbygd. Spårbilar har ersatt bussar i flera större städer och bidragit till att kollektivtrafikens attraktivitet och andel ökat.

<sup>38</sup> Det är nästan enbart redan exploaterad mark, gammal industrimark, parkeringsytor (som det nu behövs mindre av) och impediment, som utnyttjats för detta.

<sup>39</sup> De som delar bil betalar ju i stort sett enbart när de kör, medan de fasta kostnaderna för en egen bil ofta står för mer än hälften av de totala kostnaderna.

### *Bebyggelse*

Inte minst beroende på den begränsade tillgången på biobränsle så har mycket stora energieffektiviseringar genomförts i bostadsbeståndet. Detta innebär att merparten av den år 2005 befintliga bebyggelsen genomgått åtgärder, t ex tilläggsisolering, byte av fönster mm, vilket har minskat energibehovet med 30-40%. Total boendeyta har ökat med ca 10 % jämfört med år 2005. Det är till övervägande del flerbostadshus i större tätorter som tillkommit. Över lag spenderas mer tid utanför bostaden jämfört med 2005 och scenarierna 1 och 2. Den totala lokalytan har, bland annat på grund av den kraftigt ökade tjänsteproduktionen, ökat med drygt 30 % jämfört med år 2005. Flerbostadshus och lokaler försörjs till stor del med fjärrvärme som baseras på biobränsle. Värmepumpar, både i fjärrvärmeproduktionen och som separata enheter, spelar dock också en viktig roll. Dessa används främst i mindre tätorter där värmeunderlaget är för litet för ekonomisk kraftvärmeproduktion. På grund av den begränsade tillgången på biobränsle används ca 6 TWh solvärme i fjärrvärmesystemet. Småhus värms med värmepumpar, förutom en mindre andel som använder biobränsle, främst ved.

### *Konsumtion, produktion och godstransporter*

En stor del av inkomsterna läggs på långväga resande och inköp av personliga tjänster som underlättar ett leverne i högt tempo eller som ger tillfredställelse i sig. Restaurangbesök liksom konsumtionen av färdiglagad mat som hämtas på restaurangen eller levereras till dörren har ökat starkt. Andelen fisk och kött i kosten är genomgående hög. Dessutom konsumeras en stor mängd personliga tjänster, exempelvis har städhjälp blivit vanligt liksom professionell hantverkshjälp underhåll av småhus och lägenheter. Fritidsaktiviteter sker i stor utsträckning utanför det egna hemmet, t ex i form av spabesök, biobesök, idrottsaktiviteter, konserter och liknande.

Eftersom egenägda varor som används sällan betraktas som en belastning att köpa, underhålla och förvara, så går uthyrningsbranschen på högvarv. Detta gäller bilar, båtar, sportvaror, finkläder mm. Många hushåll (liksom företag och organisationer) i större städer är också medlemmar i bilpooler.

Godstransporterna med lastbil har minskat med ca 10 % medan spårtransporterna ökat med 70 %. I och med att resandet med järnväg också ökat kraftigt har betydande nyinvesteringar i järnvägsnätet företagits, främst i landets södra del. En stor del av den ökade tågtrafiken har ändå kunnat tas om hand genom ett bättre utnyttjande av befintlig spårkapacitet t ex genom att utnyttja satellitpositioneringssystem. Distribution av varor sker till stor del med hybrider som kan köra i stadskärnorna på el laddad från elnätet. För långväga lastbilstransporter används fortfarande fossil diesel.

### 3.5.2 Den historiska utvecklingen mellan 2007 och 2050 i korthet

#### *Tillbakablick från år 2010*

Under det första decenniet efter sekelskiftet fasades all oljeanvändning i småhus ut helt.

#### *Tillbakablick från år 2020*

Momsen på tjänster sänktes under detta decennium från 25 till 12%, som ett led i strävandena att minska konsumtionens miljöpåverkan.

För att bättre hushålla med de knappa bioenergiressurerna infördes en energiskatt på biobränslen år 2015.

År 2012 inlemmades en del av flygets utsläpp i EU:s system med utsläppstak och handel med utsläppsrättigheter. Trots detta fortsatte flygets utsläpp att öka nästan lika snabbt som tidigare. År 2018 infördes istället klimatskatter och moms på flygresor så att dessa nu beskattas på samma sätt som biltrafiken.

Stort fokus har lagts på stadsplanering som främjar gång, cykel och kollektivtrafik. Eftersom det kortväga bilresandet minskat med 30 % sedan år 2005 så har de tidigare planerna på stora vägprojekt i storstäderna skrinlagts. Miljö- och trängselavgifter har införts förutom Stockholm också i Göteborg och Malmö.

Utbyggnaden av vindkraft har varit kraftig under det senaste decenniet och produktionskapaciteten är 15 TWh nu år 2020.

#### *Tillbakablick från år 2030*

Man börjar nu tydligt kunna se effekterna av den konsekventa prioriteringen av gång, cykel och spårbanden kollektivtrafik i stadsplaneringen. Det genomsnittliga pendlingsavståndet inom stadsområden har minskat något. Däremot har pendlingen på 8-15 mils avstånd ökat. Satellitbaserade miljö- och trängselavgiftssystem är billiga, vilket gjort att de införts även i medelstora städer som Lund, Linköping, Uppsala och Umeå. En EU-standard har utvecklats för dessa system, vilket möjliggör ett samordnat betalningssystem i vilken av Europas städer man än kör. Bilar som kör på el laddad från nätet har betydligt lägre avgifter än de som använder biobränslen.

Den täta bebyggelsen i kombination med miljö- och trängselavgifterna har medfört att spårtransporter står för 70 % av pendlingsresor längre än 8 mil.

#### *Tillbakablick från år 2040*

År 2040 bestod bilparken till 10 % av små batterielbilar, och till 25 % av plug-in-hybrider. Kollektivtrafikens andel har ökat kraftigt i större tätorter.

### 3.5.3 Strategiska frågor och förändringar

De mest kritiska aspekterna i detta scenario handlar om den begränsade varukonsumtionen i förhållande till trendutvecklingen (dock aningen högre än år 2005), samhällsplanering för korta avstånd samt god cykel- och kollektivtrafik samt slutligen utbyggnad av förnybar elproduktion.

#### *Begränsad varukonsumtion*

Människor i framtidsbild 3 arbetar i genomsnitt lika många timmar som under det tidiga 2000-talet samt i framtidsbild 1 och 2. Den stora skillnaden mellan framtidsbild 1 och 2, å ena sidan, och framtidsbild 3 å andra sidan, är vad människor lägger sina pengar på. I framtidsbild 1 och 2 prioriteras varukonsumtionen högt medan det långväga resandet prioriterades ned. I framtidsbild 3 är det tvärtom; de långväga resorna samt tjänster värderas högre än traditionell varukonsumtion. Därmed förutsätts människor ha ändrat sina värderingar i en så kallad postmaterialistisk riktning.

Begreppet postmaterialistiska värderingar står för ett sätt att tänka och handla där materiell konsumtion har minskat sin betydelse. Sociologen Roland Inghart, som är en av dem som har utvecklat och tillämpat detta begrepp, har kunnat visa att de postmateriella värderingarna tycks ha ökat i betydelse i det västerländska samhället från 1970-talet och framåt. Ett av fundamenten i Ingharts teori är dock att postmateriella värderingar är som starkast hos individer som har vuxit upp under förhållanden där det inte har rått någon materiell brist, i huvudsak den välbärgade medelklassen (Inghart 1987).

De postmaterialistiska värderingar som vi relaterar till i framtidsbild 3 uttrycks framför allt genom att en majoritet människor begränsar sin varukonsumtion och boendestorlek. Att ha en stor mängd egna ägodelar anses inte särskilt viktigt. Prylar uppfattas i allmänhet ta onödigt tid i anspråk genom att de behöver inköpas, skötas, förvaras etc. En följd av denna utveckling är att det behövs mindre förvaringsutrymmen i bostäder. Eftersom människor fortfarande arbetar relativt mycket har de fortfarande mycket pengar att spendera. Dessa pengar läggs till stor del på långväga resor och upplevelserelaterade tjänster.

De i scenario 3 postulerade värderingsförändringarna har en viss motsvarighet i nuvarande trender. Bland ungdomar kan idag skönjas en viss värderingsförskjutning i postmateriell riktning (Oscarsson, 2000). Detta kan ses som ett skäl till att konsumtionen kan komma att riktas mot upplevelser, i stället för materiell konsumtion. Att det långväga resandet, inte minst semesterresor, kommer att ha en stark ställning kan ses som i hög grad förenligt med att den ökade merparten ungdomar idag fäster stor vikt vid ett njutningsfullt liv, spänning och självförverkligande (Oscarsson, 2000). Dock bör man komma ihåg att även i detta scenario där flygreisande prioriteras högt, så krävs ett trendbrott i förhållande till prognosticerade resandeökningar, om än inte så kraftigt som i scenario 1 och 2. Generellt bör dock

noteras att alla resonemang om värderingsförändringar skall göras med stor försiktighet, vilket vi återkommer till i kapitel 4.

### *Planering för funktionell tillgänglighet och ett minskat bilägande*

En viktig förändring i denna framtidsbild rör boende och transporter. På grund av att människor sätter långväga resande högt, och detta till övervägande del görs med flyg som drivs på fossila bränslen, så finns det i detta scenario inte möjlighet eller vilja att använda bil i samma utsträckning som idag. Att det privata bilanvändandet får stå för sina kostnader i högre grad än idag, exempelvis genom införande av olika sorters trängselavgifter eller andra styrande miljöavgifter, är ett sätt att göra alternativen till bilen mer konkurrenskraftiga. Framför allt framstår detta som ett intressant styrmedel att använda i tätorter runt om i landet.

Även om det är en relativt påtaglig värderingsförändring som antas ske i detta scenario, kan konstateras att ett realiserande av scenario 3 förutsätter en stadsplanering som är konsekvent inriktad på att stödja gång, cykel och spårbunden kollektivtrafik, med syfte att stärka dessa strukturer och ge goda alternativ till bilresande. Generellt talat handlar det om att förverkliga en struktur med kortare avstånd mellan bostäder och service exempelvis i form av tät bebyggelse kring noder för kollektiva transportsystem. Detta ses också som en förutsättning för att driva på en utveckling mot mer delat bilägande, samt att i det stora hela öka cykel- och kollektivtrafikens andel.

I anslutning till detta kan dock konstateras att planeringen av tätare stadsstrukturer inte är en okontroversiell fråga. Att bygga tätt och ”stadsmässigt” har varit en trend inom samhällsplaneringen under de senaste åren, liksom flera gånger tidigare i historien (Raattamaa, 2005). Frågan är dock hur man åstadkommer en tät struktur som samtidigt inte riskerar att fragmentera de strukturer av grönområden som har visat sig viktiga för människors välbefinnande och för den biologiska mångfalden även i innerstads- eller ytterstadsområden. Ett sätt att undvika sådana konflikter är att bygga på redan exploaterad mark, t ex gammal industrimark eller bygga över parkeringsplatser. Även i sådana fall finns dock viss risk, om än mindre, för konflikter med biologisk mångfald.

Generellt kan dock konstateras att en viktig fråga för detta scenario är att infrastruktur- och stadsplaneringen styrs utifrån målet att skapa strukturer för funktionell tillgänglighet snarare än mobilitet. Det handlar om att utöka både de tekniska möjligheterna och intresset för att nyttja virtuella möten i stället för fysiska möten, t ex genom lättillgänglig demonstration av tekniken. För att detta skall kunna förverkligas behöver dock en rad trögheter och maktaspekter hanteras, vilka diskuteras mer utförligt i kapitel 4.

### *Utbyggnad av strukturer för förnyelsebar elproduktion*

I detta scenario är tillgången på biomassa relativt låg medan utbyggnaden av främst vindkraft antas vara hög. När det gäller vindkraft kan konstateras att det i Sverige

finns en stor potential för detta energislag. Ur ett ekologiskt perspektiv är invändningarna mot vindkraft små. Konflikter med andra miljömål är sannolikt betydligt mindre än för bioenergi. Men även om det generellt tycks råda en relativt positiv inställning till vindkraft, finns det också faktorer som bromsar utbyggnaden. Främst handlar det om flaskhalsar rörande planerings- och tillståndprocesserna, som ofta tar lång tid. Överklaganden är vanliga. Ur ett lokalt perspektiv finns det ofta invändningar ur estetisk och visuell synvinkel. Även buller kan upplevas som ett problem av närboende, även om detta främst gäller äldre vindkraftverk. Skuggbildning lokalt kan vara ett problem, och överhuvudtaget påverkas hela upplevelsen av platsen och landskapet (Hammarlund, 2002). Hur vindkraften uppfattas, och om den lokala påverkan kan accepteras eller ej beror till stora delar på människors inställning till denna teknik. Men även detaljer i utformningen kan visa sig mycket viktiga – hur vindkraftverket utformas i relation till landskapet, vegetationen etc., har stor betydelse. En ökad mängd vindkraft i elsystemet kan åstadkommas relativt snabbt om tillståndsgivningen kan snabbas upp. Dock är acceptansen en nyckelfråga. Att göra människor delaktiga i planeringen av vindkraftverk, och därmed öppna upp för större möjligheter till anpassning till det som lokalt uppfattas som viktiga värden i landskapet m.m., kan vara ett sätt att öka acceptansen (Hammarlund, 2003). Att placera mer vindkraft till havs kan också vara ett sätt att minska dessa konflikter.

## 3.6 Scenario 4: Tjänstekonsumtion i högt tempo/Bio-hög

### 3.6.1 Framtidsbild år 2050

Liksom framtidsbild 3 präglas denna framtid av mindre fokus på att själv äga saker och ett större fokus på tjänster och upplevelser. De flesta vill undvika egna ägodelar som bara används sällan, men som ändå kostar pengar och tar tid att ta hand om. Att hyra vid behov eller dela ägodelar med andra (t ex båtar, bilar, tvättmaskiner etc.) är vanligt. Fokuseringen på fysisk hälsa är högre i här än i scenario 3. Detta tar sig bland annat uttryck i en hög andel cykeltrafik och en förhållandevis låg andel animalisk föda. Långväga resandet med flyg och tåg är liksom i scenario 3 högt prioriterat.

Tillgången på biobränsle världen över är hög i denna framtid, till skillnad från i scenario 3. Det beror till stor del på att världens befolkning har en relativt låg andel animalisk föda i kosten, vilket har frigjort stora markområden för produktion av biobränsle. En följd av den relativt stora tillgången på förnybar energi är att energipriserna är lägre än i scenario 1 och 3, om än betydligt högre än år 2005. Detta har i sin tur lett till en något lägre energieffektivisering än i de scenarierna.

### *Resande*

Det totala svenska bilresandet är i denna framtid 20 % lägre (per person är det drygt 30 % lägre) än det var år 2005 samt framtidsbilderna 1 och 2. I större städer är minskningen ännu större, medan den är marginell på landsbygden. Som i scenario 3 är en orsak till det låga bilresandet att nybyggnation i tätorter alltsedan år 2010 konsekvent lokaliserats tätt kring noder i kollektivtrafiknätet eller som utvidgningar av städernas täta innerstäder (speciellt i Stockholm).<sup>40</sup> Detta har nu efter 40 år givit ett påtagligt resultat, både i kortare resavstånd och en sjunkande andel bilresor. Även betydande utbyggnader av spårtrafiken i större tätorter samt en generellt stark prioritering av framkomligheten för gång- cykel- och kollektivtrafik har bidragit till detta. Jämfört med scenario 3 är satsningarna på kollektivtrafiken något lägre i denna framtid, men å andra sidan har det här satsats ännu mer på gång- och cykeltrafiken. Detta tillsammans med det höga hälsomedvetandet har resulterat i att cyklandet i denna framtid är högre än i alla de andra scenarierna. Cyklandet har ökat med 400 % vilket innebär att det genomsnittliga cyklandet per person i Sverige nu är ca 50% högre än det var i Danmark och Nederländerna kring år 2000.

Liksom i scenario 3 har bilpooler (kommersiella och ideella) och biluthyrning blivit populärt. Bilparken består av en mindre andel plug-in-hybrider och rena batterielbilar jämfört med i scenario 3. Trots det står bilar i eldrift sammantaget för ca 35 % av den totala reslängden med personbil. För detta åtgår 3 TWh el. För det resterande bilresandet används i huvudsak effektiva dieselhybrider med metanol i tanken.

I likhet med scenario 3 har flygresandet ökat med 90 % per person i förhållande till år 2005. Det är dock betydligt lägre än den ökning på 265 % som prognostiserades för 45 år sedan. Klimatskatter och moms betalas nu även av flyget. På liknande sätt som i scenario 3 har snabbtåg tagit över en betydande del av det inrikes flygresande, speciellt i södra Sverige där nya banor för snabbtåg byggts. Jämfört med år 2005 har det inrikes flygresandet i stort sett halverats. Även nattåg till kontinenten, som nu går direkt till större städer som Berlin, Amsterdam och Bryssel, har ersatt en del flygresande. Flygbränsle som bunkras i Sverige består till största delen av syntetisk flygfotogen producerat från biomassa. I resten av Europa är dock andelen lägre. Vissa flygbolag använder uteslutande biobränsle för att skaffa sig en miljöprofil.

### *Bebyggelse*

Boendeytan per person har minskat med 5 % jämfört med år 2005, vilket innebär att den totala boytan i landet ökat med ca 10 %. Detta tillskott utgörs till helt övervägande del av flerbostadshus i större tätorter. Den höga tjänstekonsumtionen har bidragit till att lokalytan ökat med 30 %, liksom i scenario 3.

---

<sup>40</sup> Det är nästan enbart redan exploaterad mark, gammal industrimark, parkeringsytor (som det nu behövs mindre av) och impediment, som utnyttjats för detta.

### *Konsumtion, produktion och godstransporter*

På liknande sätt som i scenario 3 läggs en stor del av inkomsterna på långväga resande och inköp av personliga tjänster som underlättar ett leverne i högt tempo eller som ger tillfredsställelse i sig. Restaurangbesök liksom konsumtionen av färdiglagad mat som hämtas på restaurangen eller levereras till dörren har ökat starkt. En viktig skillnad gentemot scenario 3 är att andelen fisk och kött i kosten har sjunkit sedan sekelskiftet. Detta beror i högre grad på att icke-vegetarianer sänkt sin andel fisk och kött och i mindre grad på att antalet vegetarianer ökat. Dessutom konsumeras en stor mängd personliga tjänster, som i denna framtid till stor del innefattar hälsorelaterade aktiviteter.

Godstransporterna med lastbil har minskat med ca 10 % medan spårtransporterna ökat med 70 %. I och med att resandet med järnväg också ökat kraftigt har betydande nyinvesteringar i järnvägsnätet företagits, främst i landets södra del. En stor del av den ökade tågtrafiken har ändå kunnat tas om hand genom ett bättre utnyttjande av befintlig spårkapacitet t ex genom att utnyttja satellitpositioneringssystem. Distribution av varor sker till stor del med hybrider som kan köra i stadskärnorna på el laddad från elnätet. Trots att tillgången på bioenergi är betydligt större i denna framtid än i scenario 3, så används fortfarande fossil diesel för långväga lastbilstransporter. Detta beror bland annat på att flyget satsat hårt på att profilera sig med att använda biobaserat flygbränsle i denna framtid.

### **3.6.2 Den historiska utvecklingen mellan 2007 och 2050 i korthet**

#### *Tillbakablick från år 2010*

Stadsplanering som gynnar korta avstånd och ger en prioritering av gång-, cykel och kollektivresande börjar präglade de allra flesta policydokument på kommunal nivå och börjar successivt också få genomslag i praktiken.

Miljöprövning av externa köpcenter har nyligen blivit obligatoriskt.

Oljeanvändningen i bebyggelsen är nu i stort sett utfasad.

#### *Tillbakablick från år 2020*

Momsen på tjänster sänktes under detta decennium från 25 till 12 %, som ett led i strävandena att minska påverka konsumtionens struktur mot en lägre miljöpåverkan.

Strax efter 2010 ökade mängden bilpooler kraftigt. Orsaken var att kommuner och företag då insåg att de kunde spara pengar på att låta sin bilpark användas av privata hushåll under kvällar, helger och semestrar. På detta sätt kunde bilarnas fasta kostnader delas på flera samtidigt som kollektivtrafikens konkurrenskraft ökade.

Utbyggnaden av sammanhängande cykelbanenät tog fart i de flesta svenska städer några år in på 2010-talet.

Den första storskaliga fabriken för produktion av syntetiskt flygbränsle från skogens biprodukter stod färdig år 2019.

Elproduktion från kraftvärme är nu uppe i ca 15 TWh jämfört med ca 5 TWh vid sekelskiftet.

#### *Tillbakablick från år 2030*

Man börjar nu tydligt kunna se effekterna av den konsekventa prioriteringen av gång, cykel och spårbunden kollektivtrafik i stadsplaneringen. Det genomsnittliga pendlingsavståndet inom stadsområden har minskat något. Cykelresandet per person är nu nästan lika stort som det var i Danmark och Nederländerna för 30 år sedan. Satellitbaserade miljö- och trängselavgiftssystem är billiga, vilket gjort att de införts även i medelstora städer som Lund, Linköping, Uppsala och Umeå.

#### *Tillbakablick från år 2040*

Hälften av allt flygbränsle som bunkras i Sverige produceras från skogsråvara. Andelen personbilar som använder fossila bränslen är nu nere i 25 %.

### **3.6.3 Strategiska frågor och förändringar**

Ett område som är speciellt viktigt i detta scenario är introduktion av biodrivmedel inklusive syntetiskt flygbränsle producerat från biomassa genom förgasning. Denna fråga är dock relativt viktig också i scenario 2, det andra scenariot där tillgången på biomassa för energiändamål antas vara hög. Två av de strategiska frågor som diskuteras för scenario 3 är också i hög grad relevanta för detta scenario, nämligen: Begränsad varukonsumtion och Planering för funktionell tillgänglighet och ett minskat biläggande.

#### *Biodrivmedel för transportsektorn*

Detta är det scenario där det används mest biodrivmedel i transportsektorn. Även i detta scenario är andelen person-km med bil som sker med plug-in-hybrider i el-drift betydande, ca 35 %, men för resterande 65% används biodrivmedel som metanol och DME. Även en stor del av flyget använder syntetisk flygfotogen producerad av biomassa. Huvuddelen av mängden biodrivmedel produceras genom förgasning biomassa. Investeringarna i denna industri är stora och har lång livslängd vilket gör att det krävs långsiktiga styrmedel för att nå resultat. Samtidigt råder i dagsläget, vilket denna studie förhoppningsvis lyckats visa på, en osäkerhet om hur mycket (om något) biomassa som kan användas för transporter. Det som i dagsläget, år 2007, således är mest relevant är att öka kunskapen om tillgång på biomassa samt fortsätta satsningar på pilotprojekt och så småningom eventuellt större kom-

mersiella anläggningar för exempelvis produktion av metanol genom förgasning av biomassa. Under tiden bör hinder för låginblandning av metanol i bensin undanröjas.

När det gäller flygbränsle producerat från biomassa, så är kvalitetskraven höga inte minst av säkerhetsskäl. Detta kommer sannolikt att minska verkningsgraden vid produktionen. Visar den sig bli avsevärt mycket lägre än för DME/metanol från biomassa, kan det vara mer fördelaktigare att ersätta fossila bränslen för långväga lastbilstransporter och för sjöfarten, istället för i flyget. Metanol går dock inte att använda inom flyget på grund av att dess energiintensitet (kWh per kg bränsle) är för lågt.

## 3.7 Scenario 5: Utökad fritid och lägre konsumtion/Bio-låg

### 3.7.1 Framtidsbild år 2050

Karaktäristiskt för denna framtid, i kontrast till alla de övriga, är den höga värderingen av fri tid och det lugnare tempot. Liksom i scenarierna 3 och 4 är upplevelser snarare än materiell konsumtion och eget ägande i fokus, men här är arbetstiden (i den formella ekonomin) ca 25 % lägre. Det innebär att inriktningen i detta scenario är av en annan karaktär, även om resande även i detta scenario spelar en viktig roll. Den ökade fritiden används delvis till egenarbete t ex inredning, renovering och underhåll av den egna bostaden, trädgårdsarbete och matlagning.

#### *Resande*

Flygresandet är lika stort som i scenario 3 och 4, men har en något annorlunda karaktär. På grund av att fritiden utökats och att tempot i denna framtid är lägre så har långsammare flygplan tagit en relativt stor marknadsandel speciellt för korta och medellånga resor.<sup>41</sup> Ofta väljs detta lite långsammare ”ECO-flyg” som både är billigare och miljövänligare. För en resa till t ex Kanarieöarna innebär det en restid på ca 7 timmar istället för som tidigare ca 5 timmar. Den tid man tillbringar på resmålet är betydligt längre i detta scenario eftersom man har mer ledig tid. 2-4 veckors bortovaro är vanligt. Befolkningens genomsnittliga flygresande per person motsvarar en resa Stockholm-London varje år och en resa Stockholm-Kanarieöarna vart tredje år.

Semestrar spenderas till stor del i Norden och i Europa. Snabbtåg är populära för resor inom Sverige och sovtåg för resor till Centraleuropa. Det har skett en viss utbyggnad av banor för snabbtåg i södra Sverige, men i något mindre grad än i scenario 3 och 4 trots att det långväga tåggresandet antas öka lika mycket i denna framtid, med ca 200 %. Anledningen är att acceptansen för resa med måttlig has-

---

<sup>41</sup> Dessa avancerade turbopropplan har en marsch fart på 650 km/h jämfört med 850 km/h som är vanligt för turbojetplan.

tighet är högre i denna framtid. Det långväga bussresandet är också av detta skäl högst här.

Liksom i scenario 3 är den lokala spårtrafiken mycket väl utvecklad och kompletteras av ett utbrett bilpoolssystem. Delat bilägande är här ännu mer utbrett på grund av den lägre inkomstnivån. Bilresandet är 30 % lägre per person än det var år 2005, i större tätorter är minskningen ännu större. De värderingar som präglar denna framtid innebär att bilen av de flesta enbart ses som ett - ibland oundgängligt - transportmedel. Förutom att bilpoolsbilar finns tillgängliga i de flesta kvarter i större tätorter har flera andra samhällsstrukturer sedan sekelskiftet förändrats så att det blivit enklare att leva utan egen bil i hushållet. Utvecklingen mot allt fler externa köpcentra har stoppats samtidigt som dagligvaruaffärer, skolor, daghem etc., finns tillgängliga på nära håll för de flesta stadsbor. Möjligheterna att få varor hemkörda har ökat väsentligt, liksom möjligheterna att ersätta vissa resor med IKT (informations- och kommunikationsteknologi).

Följaktligen har genomsnittsbilen en lägre motorstyrka än vad som var vanligt kring år 2000. Detta har gjort att bränsleförbrukningen kunnat minskas samtidigt som bilarna blir billigare att tillverka.

Eftersom det framförallt är det kortväga bilresandet som har minskat, så är andelen plug-in-hybrider lägre än i scenario 1. Den lägre inkomstnivån – om än något högre än år 2005 - har också bidragit till att spridningen av de relativt dyra plug-in-hybriderna gått långsammare här. Däremot förekommer en hel del små billiga batterielbilar som främst används i städernas ytterområden. Totalt körs ca 35 % av det totala antalet personbils-km med el laddad från nätet.

### *Produktion, konsumtion och godstransporter*

Varukonsumtionen är lägre än i scenarierna 3 och 4 och mycket lägre än i scenario 1 och 2. I scenarierna 3 och 4 är produktionen av personliga tjänster relativt stor i den formella delen av ekonomin. I detta scenario utförs istället många av dessa tjänster inom hushållen själva, d.v.s. i den informella ekonomin. Matlagning sker i större utsträckning hemma jämfört med scenarierna 3 och 4 där restaurangbesök prioriterades högre. Den höga andelen arbete i den informella ekonomin leder till en lägre ekonomisk tillväxt (eftersom detta mått bara mäter den formella ekonomins volym) i detta scenario jämfört med alla andra scenarier och i synnerhet scenario 1 och 2. Detta uppvägs, givet de förhärskande värderingarna i detta scenario, av en tillfredsställelse att se ett direkt resultat av det egna arbetet.

Rena fritidssysselsättningar (i kontrast till egenarbete) är i regel inte så utgiftskrävande. Exempel är biobesök, idrottande, litteratur, friluftsliv och allmänt socialt umgänge etc.

Närproducerade varor, inte minst livsmedel, värderas högt vilket har minskat godstransporterna. Återanvändning av varor är utbredd. Detta har gynnats av att de

flesta produkter utformas för en längre livslängd och att sofistikerade internetbaserade "second hand" marknader utvecklats. Återvinningen av energikrävande material som stål och aluminium har också ökat.

### *Bebyggelse*

Liksom i scenario 3 och 4 har boendeytan per person minskat med 5 % jämfört med år 2005, vilket innebär att den totala boytan i landet ökat med ca 10 %. Detta tillskott utgörs till helt övervägande del av flerbostadshus i större tätorter. Eftersom tjänstekonsumtionen i den formella ekonomin är lägre här än i scenario 3 och 4 så har lokalytan ökat i mindre grad. har bidragit till att lokalytan ökat med 30 %, liksom i scenario 3. Småhus värms till stor del med värmepumpar men biobränsle bidrar också med 6 TWh. Solvärme står totalt för drygt 7 TWh.

### **3.7.2 Den historiska utvecklingen mellan 2007 och 2050 i korthet**

#### *Tillbakablick från år 2010*

Redan nu år 2010 börjar opinionen för en minskad arbetstid att öka, som en reaktion på stressrelaterade hälsoproblem.

#### *Tillbakablick från år 2020*

Arbetstiden är nu förkortad med 10 % jämfört med år 2005.

Strax efter 2010 ökade mängden bilpooler kraftigt. Orsaken var att kommuner och företag då insåg att de kunde spara pengar på att låta sin bilpark användas av privata hushåll under kvällar, helger och semestrar. På detta sätt kunde bilarnas fasta kostnader delas på flera samtidigt som kollektivtrafikens konkurrenskraft ökade.

Stadsplaneringen är nu konsekvent inriktad på decentraliserad service och en struktur som stöder gång-, cykel- och kollektivtrafik. Obligatorisk miljöprövning av externa köpcentra har i praktiken medfört att mycket få sådana tillkommer. Eftersom det kortväga bilresandet minskat sedan år 2005 så har de tidigare planerna på stora vägprojekt i storstäderna skrinlagts. Miljö- och trängselavgifter har införts förutom Stockholm också i Göteborg och Malmö.

För att bättre hushålla med de knappa bioenergiressurerna infördes en energiskatt på biobränslen år 2015.

#### *Tillbakablick från år 2030*

Inom EU koordineras en upphandling av långsammare och energieffektivare flygplan för att minska risken för flygplanstillverkarna att satsa på denna typ av flygplan.

#### *Tillbakablick från år 2040*

Arbetstiden är nu i genomsnitt 25 % kortare än år 2005.

### 3.7.3 Strategiska frågor och förändringar

Den enskilt viktigaste faktorn som påverkar om och hur detta scenario kan förverkligas har att göra med genomslaget för värderingar där fri tid värderats upp i förhållande till materiell konsumtion. Utöver detta är frågan om strukturer för cykel- och kollektivtrafik viktig (denna fråga diskuteras också under scenario 3). Hinder och möjligheter kopplade till dessa aspekter diskuteras nedan.

#### *Längtan efter ett mindre stressat liv och ett genombrott för postmateriella värderingar*

Detta är ett framtidsscenario där de postmateriella värderingarna har slagit igenom i ännu högre grad än i scenario 3 och 4. Delvis på grund av förändrade värderingar, men också av hälsoskäl och av omsorg om den egna familjen, har de flesta människor valt att minska sin arbetstid och lever sina liv i ett lugnare tempo, med mindre pengar men mer fritid. Vad det handlar om är alltså en ökad hälsomedvetenhet, en vilja att komma bort från ett alltför högt tempo och stress. En hög värdering av intergenerationellt umgänge är också en pådrivande faktor. Allt fler människor i arbetsför ålder fick det i början på seklet svårt att få ihop sina liv på grund av upplevd tidsbrist. Reaktionen på detta var ett stöd för att minska arbetstiden med 25 % jämfört med år 2005.

En starkt bidragande faktor är alltså att den normbildande arbetstiden i samhället sänkts till 30 timmar i veckan. Det är betydligt lättare att minska sin egen arbetstid om de flesta andra gör detsamma. En orsak är att det finns ett socialt tryck att arbeta ”normal” arbetstid. Ett annat skäl är att det på vissa områden inte är den absoluta inkomstnivån utan den relativa inkomsten, i förhållande till de andra i samma samhälle, som spelar roll för ens upplevda välfärd. Marknaden för småhus och bostadsrätter utgör ett exempel på detta. Bostadstillgången är mycket trögföränderlig och detta gäller i ännu högre grad bostäder i attraktiva lägen. Eftersom dessa bostäder redan producerats, så avgörs var och ens möjlighet att köpa en sådan främst av hur stor ens inkomst är i förhållande till andra potentiella spekulanter inkomst. Därför spelar det stor roll om allas inkomst sänks (eller i praktiken är oförändrad över en viss period) eller om bara man själv får sänkt inkomst.

#### *En utbredd kollektiv- och cykeltrafik*

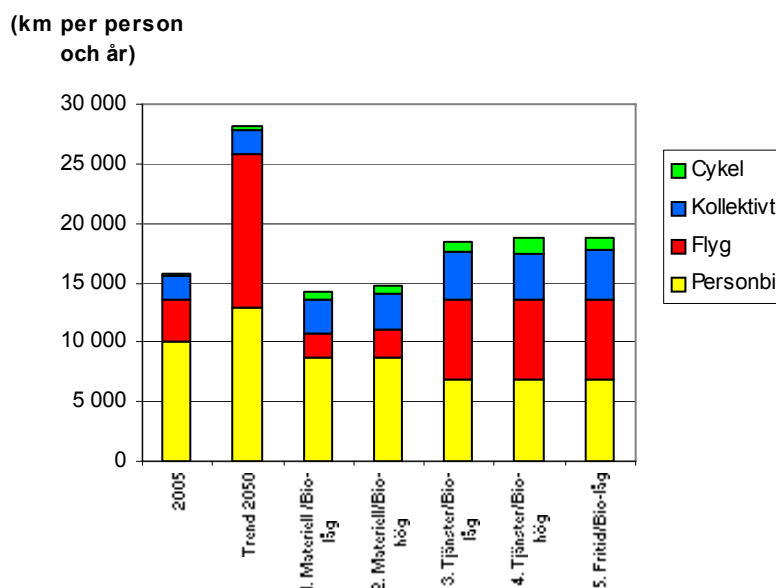
Att människor i denna framtidsbild har mindre pengar och mera tid, ger en ökad potential för delat biläggande och ett större nyttjande av kollektiva färdmedel samt cykling. En utbyggnad av de kollektiva transporterna är därför en strategisk fråga även i detta scenario. Frågan om utbyggda strukturer för kollektivtrafik är också strategiskt viktig i små och medelstora städer, där de i dagsläget inte alltid utgör ett reellt alternativ till biltrafik. Att skapa goda möjligheter till cykling genom nätverk av cykelbanor är också viktigt.

## 3.8 Jämförelse av energi- och transportsystemets struktur i scenarierna

Alla de fem scenarier som beskrivits tidigare i detta kapitel är utformade så att de når de mål för utsläpp av växthusgaser och energianvändning som härletts från EU:s och Sveriges tvågradersmål (se avsnittet Målnivåer för växthusgaser i kapitel 1). I detta avsnitt jämförs scenarierna och vissa slutsatser dras, både av det som är gemensamt och det som skiljer dem åt. Energittillförseln för de två alternativen Bio/Hög och Bio/Låg diskuterades i kapitel 2 och tas därför inte upp här. I bilaga 1 återfinns ett mer utförligt beräkningsunderlag.

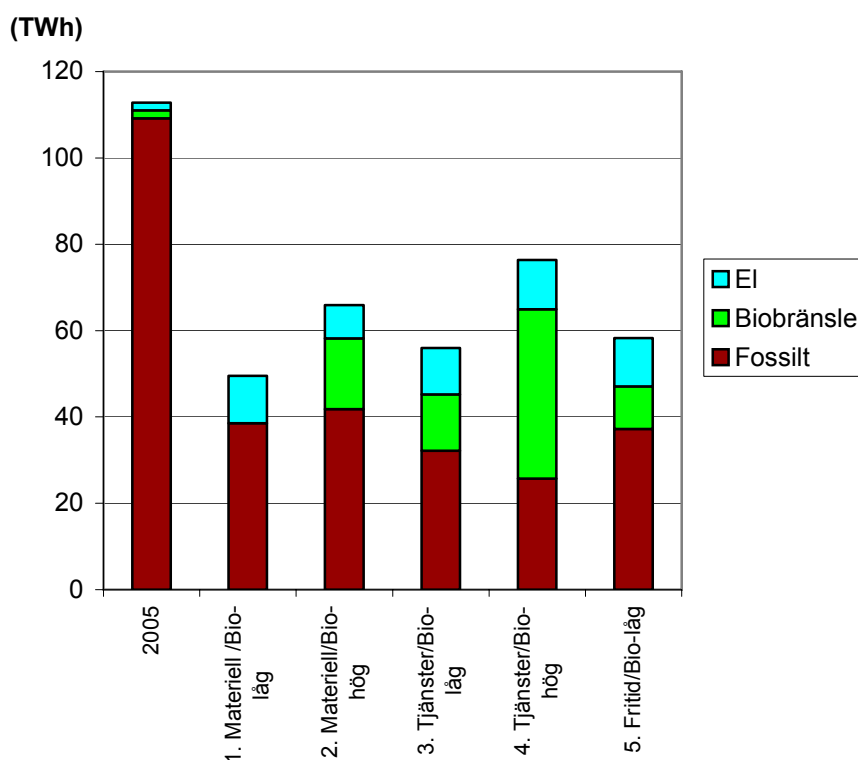
### 3.8.1 Transporter

I figur 3.1 visas resandevolymer i scenarierna uppdelat på bil-, flyg-, cykel- respektive kollektivresande jämfört med år 2005 och den trend för ”spontan” volymutveckling till år 2050 som antogs för Teknikscenariot (se kapitel 2). Både bilresandet och flygresandet ligger i alla scenarier långt under trendalternativet. Det är tydligt att dagens ökningstakt av bil- och flygresandet behöver brytas om målet ska nås. Om flyget minskar som i scenario 1 och 2 behöver bilresandet bara minska med ca 15 % jämfört med år 2005. Dock indikerar skillnaden mellan dessa scenarier och trendscenariot att det är ett synnerligen kraftigt trendbrott som då krävs för flygresandet. Om å andra sidan flyget ökar som i scenarierna 3-5 så krävs att bilresandet per person minskar med ca 30 %. En bidragande orsak till att det totala resandet är lägre i scenario 1 och 2 är att varukonsumtionen där är relativt hög, vilket ger mindre utrymme för resande.



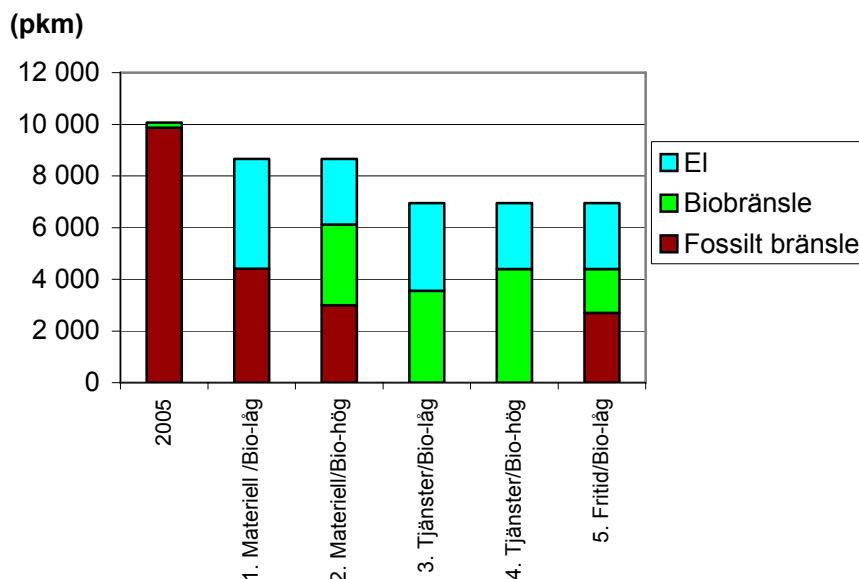
Figur 3.1: Resandevolymer i scenarierna uppdelat på bil-, flyg-, kollektiv- respektive cykelresande jämfört med år 2005 och ett trendscenariot för 2050 som innebär samma volymökning som i Teknikscenariot som presenterades i kapitel 2.

I figur 3.2 visas hela transportsektorns energianvändning i scenarierna och hur den är fördelad på energibärare. Transportsektorn har minskat sin användning av fossila bränslen i mindre utsträckning än industrin och bebyggelsen. Detta beror på att energiförlusterna vid produktion av biodrivmedel är betydligt större än vad de är om biomassan används direkt för förbränning i kraftvärmeverk eller i industrin. I scenario 1 används inga biobränslen alls i transportsektorn. Flyget använder huvudsakligen fossilt bränsle i alla scenarier utom scenario 4.



Figur 3.2: Transportsektorns energianvändning uppdelad på energibärare i de olika scenarierna jämfört med år 2005.

Godstransporterna antas i alla framtidsbilderna använda fossila drivmedel, utom lastbilar för distribution med hybriddrift som använder el laddad från nätet vid körning inom tätorter. Personbilar använder till stor del el laddad från nätet. I figur 3.3 visas andelen personkilometer med bil som sker med olika energibärare. Mellan 25 och 50 % av alla resta kilometer med personbil sker med eldrift, till största delen med plug-in-hybrider och till mindre del med rena batterielbilar. För all eldrift (el laddad från nätet) av personbilar åtgår mellan 3 och 5 TWh el. För resterande sträcka som till stor del utgör långväga resor används fossilt bränsle i scenario 1, biodrivmedel i scenario 3 och 4 samt en kombination i scenario 2 och 5. Biodrivmedel är i huvudsak DME/metanol. Vi har antagit att den mängd bioenergi som används i transportsektorn i första hand används för personbilar.



Figur 3.3: Andelen körda personbilskilometer med olika energibärare.

Plug-in-hybrider spelar således en viktig roll i alla scenarier. Eftersom verkningsgraden med eldrift är överlägsen både konventionella hybrider och bränslecellsbi-lar, så lönar det sig oftast att elektrifiera bilresor under ca 5 mil, förutsatt att elpro-duktionen inte ger några större utsläpp.

Ett frågetecken rör tillgången på olja för transportsektorn år 2050. Priset på olja kan komma att vara mycket högt om drygt 40 år. Denna faktor är sannolikt mest avgörande för flyget, vars bränslekostnader redan idag utgör en betydande del av de totala kostnaderna (mellan 15 och 30 % beroende på oljepris) trots att flygbräns-le är helt obeskattat.

Vi har i scenarierna inte räknat med någon större användning av väte. Detta beror på att plug-in-hybrider i de flesta fall är effektivare än bränslecellsbi-lar och att det fortfarande finns utrymme för relativt mycket fossilt bränsle just i transportsektorn även om de totala utsläppen ska minska med 85 %. Användning av väte och bräns-leceller kräver också betydligt mer omfattande systemförändringar med långa led-tider. Både system för produktion och distribution av väte behöver byggas upp och dessutom krävs fordon vars kostnadsbild är högst osäker. Detta kan sättas i relation till plug-in-hybrider som i princip bara behöver eluttag på strategiska ställen som hemmet och arbetsplatsen. Plug-in-hybrider bygger inte heller på något teknikge-nombrott, även om viss batteriutveckling är angelägen.

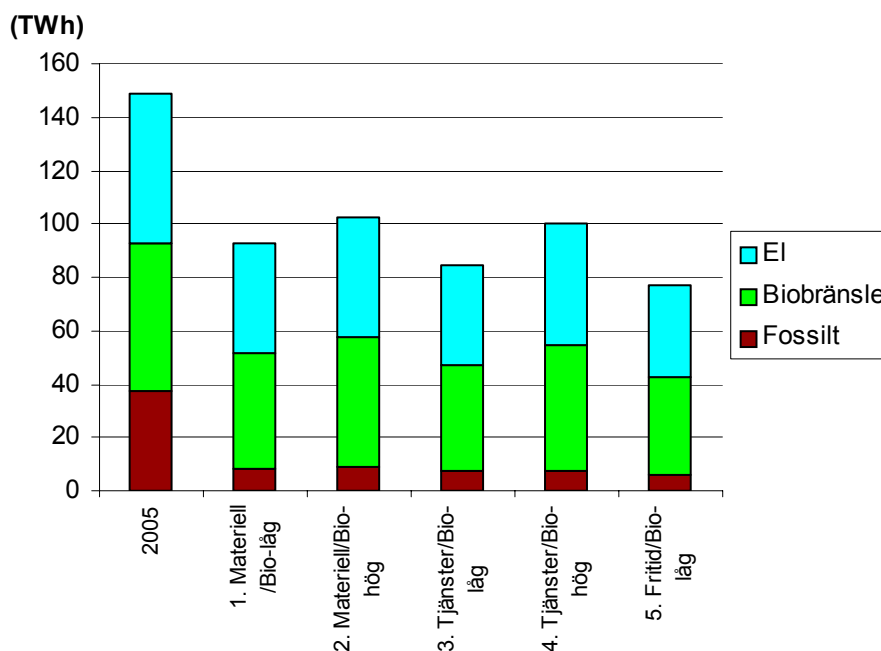
Vad som skulle kunna göra väte konkurrenskraftigt är möjligen om man har myck-et ont om biobränsle och oljan blir mycket dyr samtidigt som avskiljning och lag-

ring av koldioxid från fossila bränslen blir ett konkurrenskraftigt alternativ. Efter år 2050 kan betydelsen av väte som energibärare komma att öka.

Det råder i dagsläget en stor osäkerhet om hur stor klimatpåverkan som flygets utsläpp av kväveoxider och vattenånga orsakar. Den totala klimatpåverkan uppskattas vara mellan 1,89 och 5 gånger högre än den som orsakas enbart av koldioxidutsläppen. I denna studie har vi räknat med att denna faktor är 2,5 år 2005 och att den kan bringas ned till 2 år 2050, genom att flygvägar kan anpassas för varje enskild flygning så att den totala klimatpåverkan minimeras. På grund av den stora osäkerheten är det intressant att analysera hur mycket utsläppen i scenarierna förändras vid andra antaganden. Med en faktor 1,5 istället för 2,0 i scenario 3 (som har mest flygresande) skulle samhällets totala utsläpp minska med 12 %, vilket alltså innebär att målnivån underskrids med 12 %. En faktor 1,5 innebär att i stort sett all klimatpåverkan från utsläppen av vattenånga måste undvikas samtidigt som ingen ökning av koldioxidutsläppen sker. Med en faktor 3,0 istället för 2,0 i scenario 3 skulle samhällets totala målnivå överskridas med 23 %.

### 3.8.2 Industrin

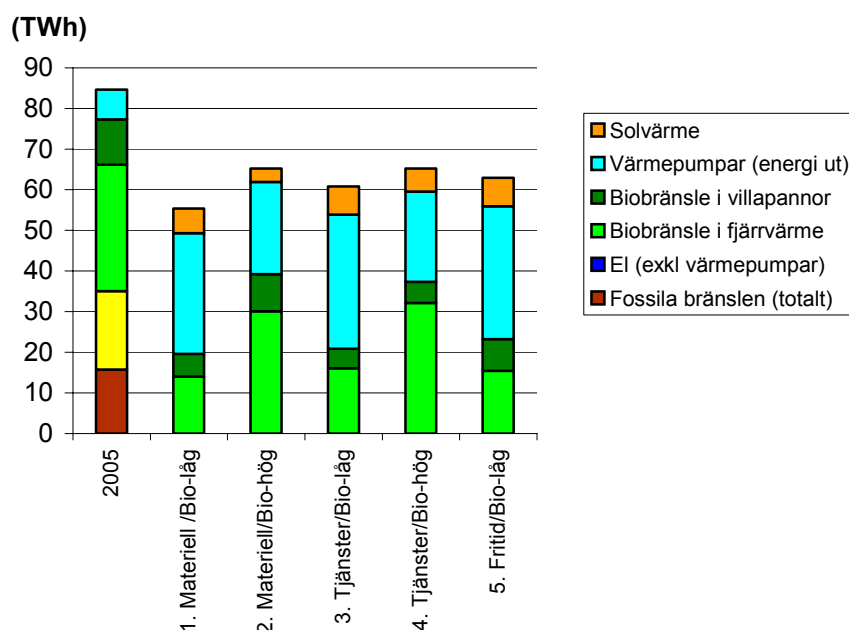
I figur 3.4 visas industrins energianvändning i scenarierna. Den högre varukonsumtionen i scenario 1 och 2 avspeglar sig i en högre energianvändning. I industrin används till viss del avskiljning och lagring av koldioxid. Den fossila energianvändning som kvarstår i scenarierna används främst i stålindustrins processer.



Figur 3.4: Industrins energianvändning i scenarierna.

### 3.8.3 Bebyggelse

I figur 3.5 visas energitillförseln för uppvärmning av bostäder och lokaler. Fossila bränslen och elvärme har helt fasats ut år 2050. I alla scenarierna i denna studie används värmepumpar för uppvärmning i de flesta småhus, medan biobränslen (främst ved) står för 5-9 TWh, mest i scenario 2 och 5. I scenario 1, 3 och 5 där tillgången på bioenergi är förhållandevis låg är det till och med så att en del av flerbostadshusen och lokalerna värms med värmepumpar. Solvärme bidrar i scenarierna med mellan 4 och 7 TWh. En del av denna används i fjärrvärmesystem. Bostadsytan är i scenarierna 1 och 2 oförändrad per person vilket innebär att total bostadsyta ökat med ca 15 %. I scenarierna 3-5 har bostadsytan per person minskat med 5 % vilket innebär att total bostadsyta bara ökat med 5 %.



Figur 3.5: Tillförsel av energi för uppvärmning av bostäder och lokaler.

Fjärrvärmeunderlaget är i scenario 2 och 4 ungefär lika stort som idag, medan det i övriga scenarier är betydligt lägre. Detta beror på att kraftiga energieffektiviseringar krävs för att nå målen, att byggnadsbeståndet ökar förhållandevis långsamt och att det i scenarierna 1, 3 och 5 finns utrymme för relativt mycket värmepumpar, även en del för flerbostadshus och lokaler.

## 3.9 Några slutsatser som kan dras utifrån scenarierna

- Betydande teknikeffektivisering krävs i alla sektorer (bebyggelse, industri, transporter) om en minskning av utsläppen med 85 % ska kunna

uppnås. För att realisera dessa krävs kraftfulla styrmedel i alla scenarier, men i synnerhet i scenario 1.

- Men, även med stor effektivisering behöver efterfrågan på vägtransporter, flygresande, konsumtionsvaror, boyta mm, påverkas mot en lägre nivå än i *Teknikscenariot*. Beroende på prioriteringar behöver olika sektorer påverkas olika mycket.
- Vindkraft är viktigt i alla scenarier och medför förhållandevis få konflikter med andra miljömål (i huvudsak buller och estetiska problem), även i jämförelse med bioenergi.
- Stor osäkerhet råder om framtida tillgång på biobränsle främst globalt men även i Sverige. Biobränslen bör i första hand användas för processvärme och mottrycksel i industrin och i andra hand i kraftvärmeverk. I scenarierna står biodrivmedel för mellan 0 och 50% av transportsektorns energianvändning år 2050. Det finns därför anledning till en viss försiktighet när det gäller storskaliga investeringar i biodrivmedel för transportsektorn. Forskning, utveckling och demonstration av andra generationens drivmedel är dock angeläget.
- Sverige har stora möjligheter att bli en betydande nettoexportör av både biobränslen och el.
- Plug-in hybrider som använder el från nätet och (t ex) diesel eller metanol är troligen ett bättre alternativ än bränslecellsbilar och vätgas på medellång sikt. På längre sikt, speciellt om koldioxidlagring i större skala blir acceptabel, kan vätetets roll bli större.
- Det behövs ett paradigmskifte i planeringen från mobilitet till tillgänglighet. Detta innebär bl.a. en stadsplanering som ökar cykel- och kollektivtrafikens konkurrenskraft och bidrar till korta avstånd till service (livsmedel, dagis mm) samt ersättande av en viss del arbets- och tjänsteresor (upp till ca 20 %) med högkvalitativ IT-kommunikation.
- Vid planering av ny infrastruktur behöver man noga beakta vilka transportvolymerna som år 2050 är förenliga med att målen nås. Investeringar i IT (virtuella möten mm) och spårinfrastruktur bör prioriteras. Stor restriktivitet bör iaktas för investeringar i ökad vägkapacitet som leder till nygenererat resande och ökade utsläpp. Bilresandet per person minskar i alla scenarierna.
- Värmepumpar är i de flesta scenarier ett bättre alternativ än fjärrvärme eller biobränslepannor i småhus. Vid låg tillgång på biobränslen och god tillgång på el kan värmepumpar även vara ett alternativ för vissa flerbostadshus eller lokaler. En av anledningarna är följande. Vid begränsad tillgång på biobränsle, som i scenario 1, 3 och 5, är det effektivare att i

första hand använda bibränsle för att producera processvärme i industrin. Denna processvärme på i allmänhet över 100 grader och ofta över 500 grader går inte att producera med värmepumpar. Detta innebär att 1 kWh el och 1 kWh bibränsle i stort sett är lika användbara i detta fall. Om vi ska producera 100 kWh processvärme och 100 kWh för lokaluppvärmning, så kan lokaluppvärmningen i fall 1 åstadkommas med 33 kWh el i en värmepump eller i Fall 2 genom att 167 kWh eldas i ett kraftvärmeverk, vilket ger ungefär 100 kWh lokalvärme samt 67 kWh el. Eftersom vi på något sätt måste producera processvärmerna (fossila bränslen är utfasade) så får dessa 67 kWh samt ytterligare 33 kWh användas för att täcka detta behov i fall 2. I Fall 2 blir totala primärenergiåtgången således 167 kWh bibränsle och 33 kWh el. I fall 1 däremot används 100 kWh bibränsle för processvärmerna vilket gör att total primärenergiåtgång blir 100 kWh bibränsle och 33 kWh el. I fall 1, med värmepumpar för lokalvärme, sparas alltså 67 kWh bibränsle.

## 4 Diskussion kring förändringsprocesser i scenarierna

De fem framtidsbilderna som presenterades i föregående kapitel utgör fem olika exempel på en framtida situation där utsläppen av klimatpåverkande gaser har minskat med 85 % i jämförelse med nuläget. Frågan om förändring är central och på många sätt avgörande i vägen till respektive framtidsbild. Men hur sker förändring? Vad är viktiga förutsättningar och villkor för att förändringar skall komma till stånd? Vilka trögheter finns? I detta avsnitt skall en generell diskussion föras om detta. För att tydligt återkoppla till tidigare avsnitt är texten orienterad kring de sorters förändringar som kan härledas direkt ur framtidsbilderna och scenarierna i kapitel 3.

### 4.1 Teknisk förändring

#### *Betydelsen av normer och värderingar i tekniska förändringsprocesser*

De framtidsbilder som tecknas i kapitel 3 ovan bygger i relativt hög utsträckning på att nya tekniker – exempelvis för persontransporter – kan utvecklas och få genomslag. I scenario 1 och 2 skisseras ett teknikskifte till en annan sorts privatbilar, i scenario 3 handlar det om införandet av nya färdmedel som spårtaxi. Att nyttja informations- och kommunikationsteknologi för såväl möten som upplevelser är också en viktig förutsättning i samtliga scenarier.

Vilka är då de viktiga drivkrafterna för den tekniska förändring som behövs? Hur genomförs teknikskiften? En viktig förutsättning för att ny teknik skall få genomslag är givetvis, som också nämndes i diskussionen om laddhybriderna i scenario 1, att tekniken som sådan förfinas så att den blir konkurrenskraftig på marknaden. I fallet med de nya biltyperna kan förändringen alltså drivas på med traditionella forsknings- och utvecklingsåtgärder som syftar till att förfina produkten. Av stor vikt är dock att fokus i denna sorts insatser inte endast ligger på det som vanligen ses som ”rent tekniska” aspekter. Teorin om sociotekniska system, som utvecklats av Tomas P Hughes och som redovisades översiktligt i avsnitt 1 ovan, pekar tydligt på att ett tekniskt system inte bara består av de tekniska delkomponenter eller artefakter som ingår däri.

Begreppet sociotekniska system markerar att ett tekniskt system utgörs av både tekniska och sociala och kulturella komponenter som hänger samman som i en sömlös väv (Hughes, 1983; Palm, 2004). Innebörden av detta är att tekniska komponenter inte kan skiljas från dess omgivning. Utformningen av enskilda artefakter eller delkomponenter i ett sociotekniskt system, samt förstås utformningen – eller förändringen – av hela det sociotekniska systemet, är beroende av tänkesätt, normer, värderingar och andra sociokulturella aspekter. Utvecklingen av, samt det eventuella genombrottet för ny teknik

alltid är beroende av vilka normer och värderingar som råder i samhället i stort, samt hos systembyggare och brukare eller konsumenter.

Utifrån detta synsätt blir det uppenbart att teknisk förändring, exempelvis genomslag för ny sorts teknik för persontransporter, ny teknik för privatbilism, och informations- och kommunikationsteknik som ersättning för arbets- och tjänsteresor inte kan få ett brett genomslag om inte tekniken i sig stämmer överens med de normer och värderingar som råder hos de tänkta brukarna eller konsumenterna.

### *Vikten av att förstå teknikens sociala, kulturella och existentiella aspekter*

Teorin om sociotekniska system förklarar därmed också en del av de tröghe- ter som kan uppstå när det gäller teknisk utveckling. Fallet med person- transporter är här särskilt illustrativt; en etablerad förklaring till att många människor föredrar att åka bil i stället för att resa kollektivt till och från arbetet, exempelvis, beror inte enbart på restiden, kostnaden eller den rent tekniska funktionaliteten utan till stor del på att bilen ger utrymme för en stunds avkoppling i lugn och ro på egen hand. För en del kanske det är den enda stunden på dagen som man är helt ensam. Stunden i bilen kan således upplevas som njutbar även om bilköerna är långa (Andréasson, 2000). Den flexibilitet, pålitlighet och frihet som bilen associeras till är ytterligare fakto- rer av betydelse, samt förstås de existentiella och identitetsuttryckande aspekterna (se t ex Hagman 1998, Andréasson 1998, Polk 1998, Öblad 1998)

Den kunskap som finns och som har forskats fram inte minst av etnologer och sociologer ger mycket viktiga signaler för utformningen av alternativ till privatbilism. Att tänka sig en framtid där de kollektiva resorna ökar väsent- ligt förutsätter att de kollektiva färdmedlen i högre grad kan tillmötesgå resenärernas önskemål i dessa avseenden. Komfort, flexibilitet, pålitlighet, turtäthet är viktiga aspekter, liksom den sortens faktorer som skapar utrym- me för kulturella och existentiella dimensioner av resandet. Det är i ljuset av detta som man också skall beakta spårtaxisystemet i framtidsbild 3, samt den rad med detta besläktade kollektivtrafiksystem som har skisserats och förekommit i den trafikpolitiska diskussionen under de senaste cirka 20 åren.

Även exemplet med ökad användning av informations- och kommunika- tionsteknik för att minska arbets- och tjänsteresor måste ses i ljuset av de sociotekniska systemperspektivet. I hur hög utsträckning kommer männi- skor vilja nyttja denna teknik som ersättning för att mötas fysiskt? Svaret beror givetvis av en rad samverkande faktorer. När det gäller tjänsteresor har övergången till informations- och kommunikationsteknik som ersättning för fysiskt resande hittills gått långsammare än förväntat (SIKA 2000). En viktig faktor är förstås att transporterna idag ofta inte bär sina miljökostna- der vilket gör att IT får en sämre konkurrenssituation. Andra faktorer hand- lar om hur den virtuella mötestekniken utvecklas och förfinas, kostnader för

inköp av bra konferensutrustning m.m. men också av andra, kontextuella faktorer såsom tid och kostnad för att resa, antalet möten, det upplevda mervärdet av att träffas fysiskt etc. När det gäller arbetsresor visar studier av distansarbete att människor upplever en rad fördelar med detta i form av minskad restid, större upplevd arbetseffektivitet, bättre möjlighet att ordna barn tillsyn mm. Samtidigt är det tydligt att vistelsen på en arbetsplats också är betydelsefull av sociala skäl. Minskad kontakt med arbetskamrater framstår som en av de stora minusposterna för distansarbetare. En annan negativ effekt är att gränsen mellan arbete och fritid suddas ut alltmer om hemmet också blir arbetsplats – vilket av vissa upplevs som negativt (Sturesson, 2000; SIKÅ, 2000). Sammantaget finns en rad sociala och kulturella aspekter som påverkar hur stort genomslag det blir i praktiken för informations- och kommunikationsteknik som ersättning för arbets- och tjänsteresor. I diskussioner om förändringar av tekniska system är denna sorts aspekter avgörande att ta med i beräkningen.

### *Momentum och stigberoende*

Ytterligare en aspekt som bör nämnas när det gäller vad som driver och bromsar teknisk förändring är förekomsten av momentum. Detta begrepp är hämtat direkt från Hughes teori om stora tekniska system, och avser den tröghet som kan ligga i det sociotekniska systemet i sig självt, som en följd av de ”ekonomiska, politiska eller kulturella resurser som har investerats i systemet under dess uppbyggnad” (Palm 2004, s 44). Vad detta handlar om är att interaktionen mellan systemets tekniska och icke-tekniska komponenter gör att systemet successivt får en viss inriktning – det uppkommer institutionella regelverk, organisationer och aktörer som uttrycker vissa intressen mm. Sammantaget innebär detta att ett system utvecklar sin egen kultur, som innebär en tröghet för förändring. Arne Kaijser har i sin studie *I fädrens spår*, som är en socioteknisk analys av svensk järnvägsutbyggnad, tydligt illustrerat hur vägval i ett tidigt skede, exempelvis avseende spårvidd, i sin tur påverkar vilken sorts vagnar och lok som kan köras. De vägval som görs steg för steg får sammantaget mycket omfattande konsekvenser, och leder i viss mån till låsningar och minskade möjligheter till förändring (Kaijser 1994). Inom socioteknisk teori används begreppet stigberoende för att illustrera hur historien på så vis också formar framtiden (Palm 2004, s 45, Kaijser 1994).

Begreppet stigberoende kan också användas för att illustrera vikten av de vägval som görs idag, på exempelvis transportinfrastrukturens område. De beslut om vägar och järnvägar som görs idag avser strukturer som kommer att ligga fast för decennier, ja till och med sekler framöver. När man bygger ut fysiska strukturer bygger man alltid, till viss del, fast sig i ett system som både möjliggör och begränsar (Kaijser 1994). Detta illustrerar således en av de stora potentiella trögheterna när det gäller förändring av tekniska system och även enskilda artefakter. Inte minst är det relevant också när det gäller samtida infrastrukturinvesteringar. De vägval som görs mellan olika trafikslag – vägutbyggnader kontra järnvägsutbygg-

nader eller övrig kollektivtrafik – är i varje enskilt beslut av stor strategisk betydelse.

### *Inte teknikdeterminism*

Resonemanget om momentum och stigberoende kan tolkas som ett uttryck för ett teknikdeterministiskt synsätt. Viktigt att påpeka är dock att det givetvis alltid, i ett aldrig så trögt tekniskt system, ändå finns en ständig potential för förändring – men det kan innebära större eller mindre utmaningar beroende på vilket tekniskt system och vilken specifik situation det handlar om. Utifrån detta blir det tydligt att systemets aktörer – deras förmåga, och intresse och incitament för nytänkande och kritisk reflektion – kan vara avgörande för de förändringar som faktiskt kan komma till stånd. Benägenheten att vilja driva förändring måste dock konstateras också kunna påverkas starkt av krafter utifrån, exempelvis hot i omvärlden, nya önskemål från konsumenterna eller nya lagar, direktiv och påbud från politiskt håll (jmf Palm, 2004,; Kaijser m.fl., 1988).

## 4.2 Policyprocesser

### *Policy som idé och process*

Att politik är ett nyckelområde för att driva förändring ter sig närmast som en självklarhet. Det är genom politik och politiskt beslutsfattande som lagar stiftas och beslut fattas om styrmedel, incitamentsstrukturer, insatser för forskning och utveckling m.m. Utöver begreppet politik bör även begreppet policy nämnas. Medan ordet politik ofta leder tanken till det strikt partipolitiska, har begreppet policy en något vidare innebörd, eftersom det leder tanken också till processer utanför den (parti)politiska sfären.

Med policy kan avses dels policy som idé, dels policy som process. Policy som idé kan definieras som ”en programförklaring, d v s en uppsättning uttryckligen deklarerade riktlinjer för en verksamhet” (Palm 2004, s 41). Med policy som process avses den ”process/som/ omfattar skapandet och genomförandet av en idé” (ibid. s 41). Policy som process är sålunda, per definition, någonting som är under förändring (ibid., s 41). Som Palm konstaterar är policy någonting som utvecklas över tid. Policy handlar inte bara om beslut och ställningstaganden, utan också om mönster av ageranden. Policy skall ses som en ”dynamisk process där tolkningar, definitioner, problemförståelse etc. kan förändras över tiden av olika aktörer” (Palm 2004, s 43, med hänvisning till Hill 1997 samt Lipsky 1980).

Samtliga framtidsbilder i denna studie innefattar någon form av policyprocesser och policyförändring; exempelvis är tanken om att avsluta flygets nuvarande skattebefrielse vad gäller koldioxidskatt och moms. Tankarna om ett ökat inslag av miljöstyrande avgifter i trafiken är ett annat exempel. Vad är det då som driver policyförändring, och vilka trögheter respektive möjliggörande faktorer finns att ta hänsyn till?

### *Trögheter och drivkrafter i policyprocesser*

Inom statsvetenskaplig forskning finns det ett stort antal policystudier. De trögheter och drivkrafter som påvisas handlar ofta om aktörer, intressen, institutionella aspekter och makt. Det nyligen genomförda försöket med trängselavgifter i Stockholm är ett exempel som kan användas för att belysa både potentiella trögheter och drivkrafter i en policyprocess.

Att frågan om trängselavgifter kom upp på den politiska dagordningen var i grund och botten beroende av att det fanns ett tillräckligt stort intresse för frågan i åtminstone något eller ett par av de politiska partierna. I fallet med Stockholmsförsöket är det dessutom tydligt att den politiska maktbalansen var avgörande. Som viktigt framstår också att det fanns kunskap att tillgå om hur ett system med trängselavgifter skulle kunna utformas, och att det fanns tillräckligt många aktörer och personer som inte bara accepterade utan också drev frågan i de berörda politiska partierna, i den kommunala förvaltningen, på myndigheter och departement. Förtroende mellan partierna i regerande ställning lokalt i Stockholm var avgörande för processen. Dessutom behövdes en tillräckligt hög grad av acceptans bland väljare och partimedlemmar för att det över huvud taget skulle kunna vara görligt.

Att införa och driva en ny fråga eller policy i ett politiskt besluts- och implementeringssystem innebär ofta ett visst mått av svårigheter. Försöket med trängselavgifterna i Stockholm var långt ifrån okontroversiellt, och illustrerar en rad av de svårigheter och trögheter som ofta aktualiseras i policyprocesser. En självklar sådan tröghet handlar om att partier eller aktörer med andra intressen på olika sätt söker motverka och förhindra en policyprocess. I trängselavgiftsfrågan försökte oppositionspartierna samt intresseföreningar och organisationer med nära koppling till bilismens intressen på olika sätt försena och störa genomförandeprocessen. Därutöver kan nämnas att tjänstemän på både kommunal och nationell nivå också framstår som nyckelaktörer. Hur dessa aktörer agerar och förhåller sig har stor betydelse för policyprocessen, det kan exempelvis handla om hur mycket engagemang de lägger ned i frågan, hur de prioriterar och vilka direktiv de ger till underordnade i implementeringskedjan.

Centrala professionsgruppers inställning till politiska målsättningar har även i tidigare forskning visats sig avgörande för policy- och planeringsprocessers utfall (Asplund och Hilding-Rydevik (red) 2001, Asplund & Skantze (red) 2005). Här finns också tydliga kopplingar till organisationsforskaren Hendersons begrepp ”commitment”, ”conformity” och ”opposition”, som avser olika förhållningssätt vilka på ett påtagligt sätt påverkar hur förändringsprocesser kan genomföras och vilken effekt de får (Henderson 2002). Kontentan av detta är att alla de aktörer som är involverade i kedjan från beslut till genomförande kan påverka utfallet av de politiska intentioner som har formulerats. Dessa aktörers uppfattning och inställ-

ning till de frågor de har att hantera utgör en central förutsättning för de förändringsprocesser som förväntas komma till stånd.

### *Institutionella aspekters betydelse*

Institutionella aspekter är av central betydelse för policyprocesser. För att underlätta genomförandet av trängselavgiftsförsöket i Stockholm, exempelvis, inrättades ett särskilt kansli som hade i uppdrag att genomföra försöket på uppdrag av det politiska styret i Stockholms stad. Detta är ett exempel på hur man kan laborera med olika institutionella lösningar för att driva förändringsprocesser. En viktig institutionell aspekt utgörs också av lagar och regelverk – i trängselavgiftsfrågan behövde exempelvis en ny lag skrivas för att försöket skulle kunna realiseras. Detta innebar i viss mån en tröghet för processens genomförande, eftersom en nationell lagstiftningsprocess alltid tar tid och kräver involvering av ett stort antal aktörer.

Institutionella aspekter handlar också om organisationsstruktur och ansvarsfördelning mellan olika aktörer. På transportinfrastrukturens område råder idag en stark uppdelning mellan olika sektorsmyndigheter. Denna institutionella struktur ses idag som självklar av många, men det finns skäl att uppmärksamma hur detta också starkt begränsar vilka policys som utvecklas på transportpolitikens område (jmf Kaijser 1994). Jenny Palm har i sin avhandling om kommunala energipolicyprocesser kunnat konstatera att organisations- och ägandestrukturer är av stor vikt för lokala energipolicyprocesser (Palm 2004). Även kunskap, normer och perspektiv skall ses som en sorts institutionella aspekter. Den kunskap, de normer och perspektiv som kommer till uttryck i lagar och regelverk, i organisationsstruktur och formella och informella maktförhållanden är av betydelse. För att möjliggöra och åstadkomma förändring är det av stor vikt att kritiskt granska och revidera även denna sorts aspekter .

### *Internationella policyprocesser – ökad komplexitet*

Internationella policyprocesser har ytterligare komplexitet i sig, eftersom det då handlar om att driva en process där aktörer och institutioner från olika länder och sammanhang skall involveras och interagera. Detta är en av orsakerna till varför tanken om energi- eller koldioxidskatt på flyg ofta ses som svårhanterlig. Att nå fram till internationella överenskommelser med rättslig verkan är oerhört komplicerat, vilket har visats i en rad exempel från internationell miljöpolitik under de senaste åren (Churie Kallhague, 2004; Karlsson, 2000).

I frågan om klimatskatt på flyg blir det extra komplicerat, inte minst eftersom frågan om människors rörlighet ses som en fråga om frihet och självförverkligande. Internationella resor, kontakter och utbyten kan givetvis förknippas med starka positiva värden. Det är inte sannolikt att några större förändringar kommer att kunna genomföras om inte det blir en stark internationell konsensus nås om klimatfrågans allvar samt att en perspektivförändring kan ske, mot ett mer globalt perspektiv (jmf Karlsson 2000). Det kan

dock finnas skäl att dra sig till minnes att denna tröghet har varit ständigt närvarande i det internationella miljöarbetet. Trots detta har mycket viktigt arbete för miljö- och hållbar utveckling åstadkommit under de senaste decennierna. Det kan alltså finnas starka skäl för enskilda aktörer och nationer att starta processer, trots att det kan ta mycket lång tid från det första initiativet till dess att konkreta resultat kan nås.

## 4.3 Planering

Planering aktualiseras på olika sätt i de olika framtidsbilderna. I framtidsbild 3 och 4, exempelvis, framstår den relativt täta stadsstrukturen, liksom den ökade andelen cykelbanor och de stärkta strukturerna för kollektivtrafikresor – som också återkommer i framtidsbild 5 – som viktiga förutsättningar för förändring. Produktionsnivåerna av bioenergi och vindkraft förutsätter också fysisk planering.

Planering är alltså ett centralt begrepp att lyfta upp till diskussion i detta sammanhang. Det finns många olika sätt att betrakta och förhålla sig till planering som verksamhet. Med utgångspunkt i Erik Wiréns generella definition av planering som ”försök att med olika medel och på olika sätt bemästra och forma framtiden” (Wirén, 1998, s 13) samt ”strävan att metodiskt realisera en idé” (ibid s 57) står det emellertid klart att planering i allra högsta grad handlar om att genomföra förändringar.

Planering har i skolböckerna ofta beskrivits som en rationell process, som startar med en politisk målsättning och som avslutas med plangenomförande. Denna bild är sedan länge starkt ifrågasatt. I stället beskrivs planering i samtida forskning som en komplex process, där olika intressen och perspektiv är i ständig kamp (se t ex Flyvbjerg & Richardson, 2002; Storbjörk, 2001; Isaksson, 2001). Det är den senare förståelsen som anammas i denna rapport. Det innebär att vi ser även planering som en process som präglas av konstant förändring. Det planeringsperspektiv som tillämpas i denna studie har många likheter med policybegreppet som skisserades ovan. De drivkrafter och trögheter som kan aktualiseras i en planeringsprocess handlar också till stor del om formella eller informella politiska uppgörelser, vilka ger upphov till någon form av direktiv för planeringens aktörer att arbeta efter. Planeringens aktörer – exempelvis de involverade professionella aktörerna – har dock stor möjlighet att påverka planeringsprocessens utfall. Så som planeringsprocessen är organiserad i Sverige är deras perspektiv och inställning på många sätt avgörande (Asplund & Hilding-Rydevik, 2001; Asplund & Skantze, 2005). Detta tydliggör vikten av tydliga mål och direktiv för planeringens aktörer. Men också av en ständigt pågående kritisk reflektion, syftande till att blottlägga outtalade normer, perspektiv och prioriteringar. Att synliggöra outtalade och förgivettagna normer och perspektiv är en central förutsättning för att göra det möjligt att förändra dem (ibid). Planeringsprocesser kan organiseras på ett sätt som ger större eller mindre möjlighet

till nytänkande och förändring. Vad det konkret handlar om är exempelvis att i planeringen skapa arenor för kritisk reflektion och eftertanke, samt omprövning av pågående projekt – som ett sätt att söka skapa en motpol till inslag av momentum och stigbeorende som givetvis kan aktualiseras även här.

## 4.4 Beteendeförändringar

### *Beteende och livsstil – nyckelfrågor för framtidsbilderna*

Den kanske mest avgörande kategorin förändringar som nämns i scenarierna ovan avser förändringar i vardagslivet, i människors beteendemönster avseende boende, resande och övrig konsumtion. Att peka på vikten av detta ligger väl i linje med hur miljödiskussionen i vid mening har inriktats under senare år. Camilla Hermanssons analys av tevejournalistik och miljöpolitik i Sverige 1987-1998 är en av de studier som tydligt har kunnat påvisa hur miljöproblemen i allt högre grad diskuteras som en livsstils- och konsumtionsfråga (Hermansson, 2002). Att fokus riktas mot de val som människor gör i sin vardag är på ett sätt mycket rimligt, eftersom orsaken till klimatproblem, ozonskiktstuning, hoten mot den biologiska mångfalden m.m. på många sätt kan härledas till de konsumtionsbeslut som människor gör i sin vardag.

I vardagligt språkbruk används inte sällan ordet ”livsstil” för att beteckna frågan om människors konsumtionsmönster och vanor. I denna studie har vi dock valt att inte använda detta begrepp. Detta skall ses mot bakgrund av den omfattande diskussion som har förts om livsstilsbegreppet inom t ex socialpsykologin och sociologin under de senaste decennierna. Som exempelvis Beckman (1992) har påpekat, används begreppet livsstil ofta som om det vore ett ”lättroligt” fenomen, någonting som en människa kan välja att ta till sig eller förkasta efter behag. Utgångspunkten här är i stället, liksom är fallet i en stor del av den socialpsykologiska och sociologiska forskningen, att en människas livsstil är ett uttryck för vem han eller hon är, i vilket sammanhang och under vilka omsändigheter personen i fråga har vuxit upp, vilken social position han eller hon har, klasstillhörighet, erfarenheter m.m. (Klöfver 1995 med hänvisning till bl.a. Bourdieu). Det finns en stark koppling mellan livsstil och grundläggande värderingar, och det finns gott om empirisk forskning som pekar på att livsstilar och värderingar är stabila och trögrörliga. SOM-undersökningarna i Göteborg, exempelvis, ger en tydlig bild av att nya generationer ofta ärver den äldre generationens värderingar. Detta betyder givetvis inte att människor aldrig kan ändra sina värderingar. Bakgrunden och uppväxten är mycket viktiga variabler, men socialisations- och läroprocesser pågår hela livet, vilket innebär att det uppstår situationer då människor omprövar både sina värderingar och beteenden (Oscarsson, 2000, s 79ff). Det kan handla om händelser i omvärlden, uppkomsten av hotbilder m.m. I grund och botten framstår dock livsstil och värderingar som mycket trögrörliga strukturer. Om denna mer djuplodande definition anammas ter det sig därför som mycket vanskligt att sia om hur individers och grupper livsstilar kan eller bör förändras. Detta är också skälet till att vi

inte använder begreppet livsstil i denna rapport, utan i stället talar om beteenden, trots att livsstil självklart är en mycket viktig aspekt som på flera sätt är avgörande för de framtidsscenarioer som skisseras.

#### *Förändrade beteendemönster – styrmedel och värderingar*

Att livsstilar och värderingar är trögrörliga innebär dock inte att förändringar aldrig kan komma till stånd. I detta sammanhang väljer vi dock att fokusera beteenden snarare än livsstil. Vad är då drivkrafter och hinder för att beteendeförändringar skall komma till stånd? Vad krävs för att de beteendeförändringar som skisseras i scenarierna skall kunna realiseras?

Den kraftiga nedgång i flygresande som förutsätts i scenario 1 och 2 kan förvisso delvis orsakas av ett långsamt men säkert värderingsskifte – om nu ett sådant kan tänkas ändå äga rum, exempelvis mot bakgrund av eventuellt dramatiska klimatförändringar under de kommande decennierna. Dock finns det också policys och åtgärder som kan utvecklas och införas med syfte att påskynda sådana förändringar. Olika sorters styrmedel – ekonomiska eller administrativa – framstår som mycket viktiga i detta sammanhang, som ett sätt att via lagar och regler eller konstruerade ekonomiska incitament styra människors beteenden i en önskvärd riktning i stället för att vänta på att detta skall ske av andra skäl. Noteras bör dock att människors värderingar även här är viktiga. Att införa styrmedel för att reglera beteenden är ofta impopulära åtgärder som endast anses politiskt genomförbara om det finns en viss andel av väljarna som accepterar och bifaller åtgärden i fråga.

Resonemanget kan också överföras på resonemanget om den ökade andelen vegetarisk kost i framtidsbild 2, eller den väsentligt ökade andelen cykling i framtidsbild 2 och 4. Eftersom värderingsförändringar tar lång tid och i grund och botten är mycket osäkra, framstår styrmedel som viktiga – dels för att främja framkomsten av nya beteenden, dels för att ge en morot åt dem som redan i nuläget har påbörjat en sådan förändring. Det som åstadkoms med styrmedel är därmed kanske inte i förstone en förändring av människors livsstil i djupare mening. Att införa trängselavgifter, exempelvis, leder sannolikt inte till någon direkt förändring av värderingar och preferenser på kort sikt. Dock har det visat sig vara ett starkt instrument för att styra beteenden, vilket i vissa fall kan vara en tillräcklig målsättning.

## 4.5 Makt – aktörer och strukturer

Makt är alltid en central ingrediens i politik och planering för hållbar utveckling, liksom i alla sorters förändringsprocesser och sociala sammanhang. Med makt brukar avses ”förmåga att påverka” eller ”förmåga att göra skillnad”. Ett flertal författare har under årens lopp resonerat om makt i termer av orsak till en händelseutveckling, makt som övertalning, makt som förmåga eller resurs, makt som tvång, makt som förtryck, makt som hinder och motstånd o.s.v. (Brikell, 2000; Dyrberg, 1997; Kronsell, 1997; Lukes 1974; Ham & Hill, 1993).

### *Aktörmakt*

Makt diskuteras och analyseras ofta på ett aktörsfokuserat sätt, där makt handlar om att en aktör – eller flera aktörer i samverkan - söker påverka någon annan eller några andra att agera på ett visst sätt (Dahl 1956). Mot bakgrund av framtidsbilderna kan konstateras att det finns en rad aktörer som framstår som centrala i detta sammanhang. Dels finns de offentliga aktörerna, med riksdag, regering kommuner och andra myndigheter som utifrån sitt mandat från befolkningen och sina policyprocesser försöker påverka utvecklingen i en viss riktning. Dessutom finns den privata sektorns aktörer – näringslivet med dess företag och entreprenörer – som också utövar makt, ofta mot bakgrund av sina specifika intressen som kan kopplas tydligt till verksamhetsidé eller bransch. Även civilsamhällets aktörer kan vara viktiga att nämna, där individer eller föreningar kan agera för sina intressen och perspektiv, ibland individuellt och ibland i samverkan med andra. Utifrån de framtidsbilder som har skisserats i denna rapport kan konstateras att det finns en rad aktörer som framstår som helt avgörande i de förändringsprocesser som postuleras i scenarierna. I scenario 1 och 2 framstår flygsektorn, men även besöks- och turismindustrin som viktiga aktörer. Givetvis har det betydelse hur de väljer att agera – om de söker konflikt och vill motarbeta exempelvis de internationella policyprocesserna för klimatskatt på flyg, eller om de väljer en mindre konfrontativ hållning.

Bilindustrin och dess intresseorganisationer och allierade aktörer har också en mycket viktig position. Även de kan agera på ett sätt som förhindrar förändring. Emin Tengström, Gunnar Falkemark och Carl Melin är några av de forskare som har beskrivit de mycket starka nätverk och aktörer kopplade till bilindustrin och bilismens intressen som finns på både europeisk och svensk nivå. Historiskt har dessa varit mycket framgångsrika i att driva sina intressen (Tengström, 1998; Falkemark, 1999; Melin, 2000). Tengström har också konstaterat att samtidigt som bilismens intressen är starka, så finns det motstridiga intressen hos de aktörer som står för kollektivtrafikperspektivet, vilket har gjort deras perspektiv svagare i nationella och internationella policyprocesser (Tengström, 1998). Förekomsten av starka aktörer som vet hur de för fram sina intressen betyder inte alls att förändring är omöjligt. Dock är det viktigt hur aktörer på den politiska arenan förhåller sig till det tryck och de försök till påverkan som de gissningsvis kommer att utsättas för.

Det finns också en möjlighet att både flygindustrin och bilindustrin, förutsatt att de anammar klimatfrågan och ser den som viktig också ur eget perspektiv, också kan bidra till en förändring. Det faktum att ett antal reseföretag våren 2007 har börjat testa konceptet charterresa med tåg, kan tolkas både som ett sätt att försöka ta ansvar i klimatfrågan och därmed också öka sin goodwill. Bilindustrins numera tydliga intresse för att utveckla fordonstyper som drivs på andra bränslen än de traditionella är ett annat exempel. Denna sorts agerande visar tydligt att dessa aktörer responderar på händelser i omvärlden; nya kravprofiler hos potentiella konsumenter och nya politiska mål

påverkar deras agerande. Men förhållandet är ett av ömsesidigt beroende; först då (i detta fall) bilindustrin responderar på detta sätt finns det möjlighet att en marknad kan skapas ”på riktigt”. En grundläggande utgångspunkt här är dock att de flesta företag och branscher har en lyhördhet för nya marknadskrav. Dock kan det finnas ett tidsmässigt glapp här, vars längd påverkas av intresset och inställningen hos ”systembyggarna” i fråga. Dock finns det alltid möjlighet för de folkvalda beslutsfattarna att ta initiativ för att stärka intresset och incitamenten, exempelvis genom stöd till forskning och innovationer, eller genom att införa styrmedel eller utveckla lagstiftning som påverkar marknaden i en viss riktning.

### *Strukturella maktaspekter*

Det finns även strukturella maktaspekter som är viktiga att reflektera över i detta sammanhang. Strukturell makt kan handla om ekonomiska strukturer, vilka kan förutsättas påverka vilka aktörer och intressen som är starkare eller svagare. Här finns återigen skäl att använda exemplet med bilindustrins – samt även oljeindustrins – aktörer. Det är självklart att aktörer med starka ekonomiska intressen i ryggen har helt andra resurser att agera för att driva på eller motverka en förändringsprocess. Detta är givetvis viktigt att reflektera över för de beslutsfattare som har ansvar för att driva omställningen av transport- och energisystemen i hållbar riktning.

Strukturell makt kan dock även handla om vilka problemuppfattningar som råder om en viss fråga, det kan handla om vilken världsbild som dominerar – vad som har blivit den etablerade sanningen om någonting. Michel Foucault utvecklade på 1960- och 1970-talet begreppet diskurs för att beteckna framväxten av sådana meningssystem, världsbilder, verkighetsuppfattningar. Med begreppet diskurs avses alltså ett bestämt sätt att tala om och förstå världen (Foucault 1976, Winther Jörgensen 2000). I detta sammanhang kan konstateras att samtliga scenarier i kapitel 3 i grund och botten faller tillbaka på vår allmänna utgångspunkt om att klimatfrågan ses som ett problem av en majoritet av människorna. Detta är en viktig diskursiv förutsättning i de framtidsbilder vi skisserar. Men det finns även andra diskursiva förutsättningar som kan nämnas som viktiga för de förändringar som antas kunna ske. Ett exempel är framtidsbild 5. Den radikalt annorlunda tidsanvändning som skisseras där förutsätter dels en generell förändring i synsätt på tid, pengar, ekonomisk tillväxt och välfärd. Den tillväxtdiskurs som är en central del av det moderna västerländska industrisamhället, skulle således behöva förändras för att denna framtidsbild skulle kunna förverkligas (Friman 2002). Om inte, finns det skäl att tro att motståndet mot en sådan förändring skulle bli så starkt att processen skulle omöjliggöras.

Likaså kan konstateras att det i förhållande till en ”låt gå utveckling” (se Teknikscenariot) begränsade resande som förutsätts i samtliga framtidsbilder också förutsätter diskursiv förändring. Tankegångarna om internationel-

la överenskommelser om energi- eller koldioxidskatter på flyg, idéerna om planering för funktionell tillgänglighet, samt den ökade användningen av virtuell mötesteknik förutsätter samtliga att nya tankemönster har etablerats när det gäller tillgänglighet och fysisk mobilitet. Den i nuläget rådande diskursen om transporter och resande bygger till stora delar på idén om mobilitet, där mobilitet framstår som någonting närmast oantastligt positivt, som någonting nära förknippat med frihet och självförverkligande. För att de förändringar som skisseras i scenarierna ovan skall kunna komma till stånd krävs att ett nytt synsätt växer fram rörande transporter, resande och mobilitet – en diskurs där funktionell tillgänglighet framstår som ett centralt fundament.

Diskursiv makt är idag ett relativt vanligt förekommande perspektiv i studier av politik och planering. Ett av perspektivets nackdelar sägs dock ofta vara att det är förhållandevis outvecklat när det gäller tankar om förändring och hur förändring kommer till stånd. Utifrån exempelvis Foucauts banbrytande teoriutveckling om diskurs från sent 70-tal är det dock tydligt att perspektivet också kan tillämpas med syfte att möjliggöra förändring genom att kritisera rådande diskurser. Överfört på frågan om hållbara transport- och energisystem blir slutsatsen sålunda att det diskursiva perspektivet är viktigt i de förändringsprocesser som förutsätts, inte minst eftersom ett diskursperspektiv kan ge en grund för att tänka kritiskt kring de förgivet taganden och normer som präglar både hur rådande problem definieras, samt vilka lösningar och förändringar som skisseras. Det diskursiva maktperspektivet kan inte användas för att formulera fullständiga alternativ, men utgör en viktig grund för att skapa kritisk reflektion kring det som ses som självklart i politik och beslutsfattande idag. Kanske är detta en av de viktigaste slutsatserna att ta fasta på i energi- och klimatpolitiken här och nu; vad som behövs är en kritisk genomlysning inte bara av de tekniska lösningarna, produktionssätten och konsumtionsmönstren utan också av hela det grundläggande tänkesätt som har givit upphov till dagens situation.

## 5 Sammanfattande reflektioner - Vilken handling krävs idag om tvågradersmålet ska kunna nås?

I detta kapitel skall vi göra några mer konkreta kopplingar till dagsläget, och formulera ett antal slutsatser som handlar om vad som behöver göras i nutid. Enligt både Stern (2006) och Vetenskapliga rådet för klimatfrågor (Miljövårdsberedningen, 2007) så är det angeläget med snabba åtgärder om tvågradersmålet ska förbli möjligt att nå. Eftersom detta är en pilotstudie med begränsad omfattning så för vi inte någon heltäckande diskussion om möjliga åtgärder och styrmedel, utan fokuserar på några centrala områden.

Inledningsvis presenteras argument för varför bättre teknik och förnybara bränslen med stor sannolikhet inte kommer räcka till för att nå fram till målet. Det som behövs är också förändringar i förhållningssätt och beteendemönster. Därutöver går vi konkret in på ett antal frågor som framstår som särskilt angelägna att hantera för att undvika återvändsgränder.

### 5.1 Bättre teknik och förnybar energi räcker inte för att nå tvågradersmålet

Fyra faktorer avgör vilka utsläpp som orsakas av olika sektorer i samhället; befolkningens storlek, mängden aktiviteter/konsumtion (t ex bilresande, flygresande, varukonsumtion, boyta), energiåtgång per aktivitet samt hur stora utsläpp av växthusgaser som orsakas av en viss energianvändning. Vi har i denna rapport räknat med att Sveriges befolkning ökar från 9,1 miljoner år 2005 till 10,5 miljoner år 2050 i enlighet med SCB:s prognos (SCB, 2006 c). Världens befolkning beräknas enligt en medelskattning uppgå till ca 9 miljarder år 2050 jämfört med 6,3 miljarder idag. Dessa utvecklingar av befolkningen har vi tagit för givna.

I det teknikscenario som presenterades i kapitel 2 visades att väsentligt energieffektivare teknik i kombination med hög tillförsel av koldioxidneutral primärenergi inte är tillräckligt för att nå de utsläppsnivåer som krävs för att inte jordens medeltemperatur ska öka med mer än två grader. I teknikscenariot överskrids målnivån för 2050 med 190 %. Det krävs således också att den idag snabba ökningen av bilresande, flygresande, godstransporter, varukonsumtion etc., bryts i den industrialiserade delen av världen, samt att de länder som är i en intensiv utvecklingsfas hittar andra vägar att gå än de som i-länderna gått det senaste halvsekle.

I denna studie har vi antagit att det i det svenska energi- och transportsystemet används 50-60% mer energi per person år 2050 än vad som gäller som genomsnitt

globalt sett. Orsakerna till detta antagande är främst att Sverige har en stor andel energiintensiv exportindustri. Inte heller med detta antagande räcker mer energieffektiv teknik och koldioxidneutral energi om volymerna fortsätter att öka i dagens takt. Detta gäller även om dagens svenska kärnkraftsproduktion skulle bibehållas.

## 5.2 Tillförsel av energi

Till att börja med kan det konstateras att satsningar på effektivare teknik i många fall, speciellt inom transportsektorn, är mer angeläget än att fasa in biobränslen.

De koldioxidneutrala energislag som idag är mest kostnadseffektiva är vindkraft och bioenergi.<sup>42</sup> I kapitel 2 visades att den globala potentialen för bioenergi är mycket osäker. Osäkerheten kring den svenska potentialen är mindre, men hur mycket av denna som det ekonomiskt att använda i Sverige och hur mycket som exporteras, avgörs i stor utsträckning av hur stor den globala tillgången är.

En grov prioriteringsordning – med målet att nå högsta energieffektivitet och största utsläppsminskning – bör vara att biobränsle i första hand används för att producera processvärme i industrin. I andra hand bör el i kombination med processvärme produceras och i tredje hand bör biobränsle (med vissa undantag) användas i kraftvärmeverk. Eftersom dessa användningsområden i regel ger en bättre energieffektivitet och lägre utsläpp än produktion av biodrivmedel, så finns det anledning till en viss försiktighet när det gäller storskaliga investeringar i biodrivmedel för transportsektorn eftersom de kan leda till återvandsgränder. I scenarierna står biodrivmedel för mellan 0 och 50% av transportsektorns energianvändning år 2050.

Vindkraft framstår ur ett energi- och klimatperspektiv som en mycket fördelaktig energikälla. Negativa effekter på miljön i strikt ekologisk bemärkelse är mycket små – även i jämförelse med bioenergi – och vindkraftverk ger inga kvarstående effekter om de tas bort. Med andra ord finns få negativa inläsningsaspekter. I dagsläget finns dock flaskhalsar i systemet, som behöver hanteras. Flaskhalsarna beror idag delvis på bristfällig kapacitet hos vindkraftsindustrins underleverantörer, och delvis på att planerings- och tillståndprocesserna ofta tar lång tid. Överklaganden är inte ovanliga, av de skäl som angavs i diskussionen kring scenario 3 i kapitel 3 ovan, och acceptansen är en nyckelfråga som måste hanteras på ett adekvat sätt. Det finns ett flertal forskningsprojekt (Hammarlund 2005, Mels 2003) som ger betydelsefull input till en diskussion om hur detta skulle kunna åstadkommas. Inom projektet ”Uthållig kommun” som finansieras av Energimyndigheten bedrivs också forskning om kommunala processer för att ställa om energiplaneringen i hållbar riktning.

---

<sup>42</sup> I scenarierna har vi inte räknat med kärnkraft i Sverige. Kärnkraftens vara eller icke vara är en mycket komplex fråga som det inte funnits utrymme att behandla i denna pilotstudie. Det kan dock noteras att kostnaden för el från nybyggd kärnkraft ligger på ungefär samma nivå som den för nybyggd vindkraft i goda vindlägen (IEA, 2006).

I scenarierna ingår ca 20 TWh energianvändning som sker med avskiljning och lagring av koldioxid. Denna teknik kan i princip användas både för fossila bränslen och för biobränslen, men skalfördelar gör att den sannolikt främst kommer att användas för stora punktkällor. Det återstår emellertid att visa hur koldioxiden kan lagras långsiktigt utan läckage eller andra negativa bieffekter, innan tekniken kan tas i bruk i större skala. Eftersom livslängden på de anläggningar som kan komma ifråga, kraftvärmeverk och anläggningar i den energiintensiva industrin, är mycket lång (ca 40 år) så finns det dock anledning att förbereda de anläggningar som byggs idag, så att de senare lätt kan kompletteras med utrustning för avskiljning av koldioxid. Det handlar i första hand om att reservera utrymme för sådan utrustning (IEA, 2006).

## 5.3 Transporter

Transportsektorn står idag för över 40 % av de svenska utsläppen av växthusgaser och andelen är ökande. Det är således ett nyckelområde att söka åstadkomma förändring på, oavsett vilken framtidsbild som man tycker verkar mest rimlig eller tilltalande. Vad som samtidigt är uppenbart, är att det också är ett område där det finns starka aktörer som under lång tid har påverkat och sannolikt kommer att fortsätta påverka händelseutvecklingen (Melin, 2000; Falkemark, 1999). Det finns också diskursiva maktaspekter av betydelse (Isaksson 2001). För att hantera dessa maktaspekter krävs ett insiktsfullt och kraftfullt agerande från politisk nivå. En stor utmaning ligger dessutom i det faktum att transportsystemet i hög grad påverkas av en rad små beslut som fattas kontinuerligt av en stor mängd olika aktörer inom de flesta delar av samhället. Detta klargör vikten av att använda tydliga styrmedel som inte ger olika signaler.

Det fanns inom ramen för denna pilotstudie inte möjligheter att utforma detaljerade åtgärds- och styrmedelsförslag. I det följande skissas dock huvuddragen i en strategi för transportområdet som skulle kunna leda in utvecklingen mot framtider liknande de som illustreras av scenarierna.

### *Paradigmskifte i transportpolitiken*

Först och främst kan konstateras att om tvågradersmålet ska nås krävs ett paradigmskifte i transportpolitiken. I diskussionen om diskursiv makt i kapitel 4 ovan konstaterades att den rådande diskursen om transporter och resande utgår från en stark idé om mobilitet, som ter sig problematisk ur ett energi- och klimatperspektiv. Det är mot denna bakgrund som vi kan konstatera att det finns ett behov av ett paradigmskifte i den transportpolitiska diskussionen både internationellt och nationellt, så att fokus kan läggas på funktionell tillgänglighet istället för mobilitet i sig. Mobilitet är bara ett av flera sätt att nå tillgänglighet om än det enskilt viktigaste. Det är också så att en ökad mobilitet ibland kan vara ett tecken på en försämrad tillgänglighet. Externa köpcentra bidrar ofta till att närbutiker läggs ned, vilket gör att människor blir tvungna att resa längre för att handla dagligvaror.

Ett paradigmskifte som här skissas skulle kunna skapa nya förutsättningar för att bygga samhällsstrukturer som understödjer ett energieffektivt beteende, exempelvis en samhällsplanering som konsekvent prioriterar gång-, cykel- och kollektivtrafik i stället för bilresande, och där incitament skapas för att ersätta fysiska resor med informations- och kommunikationsteknik i de fall det är möjligt.

Frågan är dock hur ett sådant paradigmskifte kan skapas. En grundläggande förutsättning är att tydliga och konsekventa signaler ges från högsta politiska nivå om att nya principer skall gälla för planeringen av transportinfrastruktur. Eftersom transportinfrastrukturplaneringen i Sverige i dagsläget till stor del avgörs och därmed styrs genom den långsiktiga inriktningsplaneringen, är det också på denna politiska nivå som prioriteringarna måste göras och kommuniceras vidare ut i planerings- och implementeringskedjan. Detta kan givetvis innebära svårigheter, eftersom det i praktiken – åtminstone i ett kort tidsperspektivet - uppstår målkonflikter med andra samhällsintressen. Dock finns också synergier som kan underlätta en omställning. Utnyttjande av IKT för att ersätta en del pendlingsresor och tjänstere-sor kan spara restid och reskostnader. Delat biläggande kan spara pengar för hushåll, företag och offentliga verksamheter.

Paradigmskiftet för transportpolitiken är tveklöst en kontroversiell politisk fråga. Men om det finns en vilja att hantera klimatutmaningarna framstår det likväl som nödvändig fråga att hantera.

Mot bakgrund av de trögheter som finns gällande policyprocesser och planering, vilka diskuterades översiktligt i kapitel 4 ovan, är det också viktigt att det sker en kontinuerlig uppföljning och utvärdering av hur en eventuellt ny kurs efterlevs i planeringssystemets alla steg från strategisk planering till plangenomförande.

#### *Att undvika inlåsningar i samhällsplaneringen*

Mot bakgrund av resonemangen om momentum och stigberoende ovan, är det uppenbart att en stegvis utbyggnad av transportinfrastrukturen får mycket långsiktiga konsekvenser. En vägsträckning ligger kvar i decennier, ibland i århundraden, och påverkar en stads eller en regions struktur på mycket lång sikt. Ökad vägkapacitet i städer leder i allmänhet till ett ökat bilresande och högre utsläpp av klimatpåverkande gaser (Sactra, 1994; ECMT, 1996; Transek, 2000). På sikt bidrar de också till en utglesning av städerna som sin tur ger sämre möjligheter för kollektivtrafiken att konkurrera.

Varje nytt beslut om transportinfrastruktur bör därför granskas kritiskt ur ett strategiskt, långsiktigt perspektiv. Det ter det sig rimligt att alla strategiska överväganden och beslut om investeringar i transportinfrastruktur skall granskas och motiveras i ljuset av de klimatpolitiska målen. Detta gäller inte minst samhällsekonomiska kalkyler. Rimligen bör jämförelsealternativet i sådana kalkyler utgå från att klimatmålet ska nås. I dagsläget utgår man ibland vid kalkyler av vägprojekt, från trafikökningar som är oförenliga med klimatmålen, och får då till resultat en högre

lönsamhet (eller inte sällan, en mindre olönsamhet) än man annars hade fått (Finnveden & Sterner, 2007).

Vid beslut med långsiktiga konsekvenser bör också fokus skifta från mobilitet till funktionell tillgänglighet. Den fråga som bör ställas i samtliga transportpolitiska beslut är således vilka konsekvenser det aktuella projektet kan väntas medföra ur klimatsynpunkt, samt om den funktion som projektet är tänkt att fylla kan fyllas på annat sätt, med hjälp av annan teknik eller något annat transportslag. Även i detta sammanhang kommer konflikter sannolikt att uppstå mellan de klimatpolitiska ambitionerna och andra samhällsintressen. Dessa målkonflikter är oundvikliga och måste hanteras på ett tydligt sätt, som en del i formuleringen av ett tydligt politiskt klargörande om klimatfrågans status i relation till andra samhällsmål.

### *Ekonomiska styrmedel*

En höjd skatt på bensin och diesel är en nödvändig beståndsdel i de flesta styrmedelspaket som har möjlighet att nå utsläppsmålen. En nackdel med detta styrmedel är dock att det slår lika hårt i glesbygd, där det finns få alternativ till bilen, som i större städer, där det ofta finns en väl utbyggd kollektivtrafik (eller åtminstone förutsättningar för en utbyggnad). Om man därför kompletterar med miljö- och trängselavgifter i större städer samt en kombination av subventioner på nybilar med låga utsläpp och avgifter på nybilar med höga utsläpp, så krävs mindre höjningar av bränsleskatten än vad som annars skulle bli nödvändigt. Miljö- och trängselavgifter i större städer ska i första hand motsvara de externa effekter i form av trängsel och lokal hälsopåverkan som trafiken ger upphov till, men de kan även ha den positiva bieffekten att utsläppen av växthusgaser minskar.

Lastbilstrafiken ökar idag snabbare än personbilstrafiken. Höjd dieselskatt kan vara ett lämpligt styrmedel men eftersom lastbilstransporter i allt högre utsträckning är gränsöverskridande så krävs det för större höjningar en samordning inom EU. Detta är således en viktig fråga för Sverige att driva. Kilometerskatt på lastbilar är ett styrmedel som finns i bland annat Schweiz och Tyskland och som delvis kan ersätta höjd skatt på diesel (dock blir då personbilar som använder diesel gynnade). En integrering av järnvägssystemet i Europa är en viktig fråga för att underlätta för en överflyttning från lastbil till järnväg. I dagsläget kan det vara billigare att transportera gods på järnväg än lastbil, men bristande tillförlitlighet gör ändå att lastbilstransporter oftast föredras.

Flyget och sjöfarten är idag helt undantagna från koldioxidskatt, energiskatt och moms på de bränslen de använder. Det innebär att priset i allmänhet ligger på 2-4 kronor per liter, medan bensin och diesel kostar 10-13 kronor per liter. Detta förhållande ökar utsläppen av växthusgaser och snedvrider konkurrensen mellan olika transportslag vilket bland andra SIKA påpekat. EU-kommissionen har föreslagit att flyget ska inlemmas i EU:s system för utsläppshandel från och med 2011. Effekten på flygets utsläpp, om planerna blir verklighet, beror bland annat på hur stor tilldelningen av utsläppsrätter blir, men uppskattas av många bedömare bli relativt

liten (Witt m.fl., 2005). En orsak till detta är att den energiintensiva industrin som idag ingår i systemet är starkt konkurrensutsatt och på sikt kan flytta sin produktion till länder utanför EU om deras kostnader för utsläppsrätter blir för höga. Det dilemma som man med denna lösning riskerar att hamna i är; att om man sänker tilldelningen av utsläppsrätter i väsentlig utsträckning så riskerar man att arbetstillfällena försvinner från EU, medan om man inte sänker mängden utsläppsrätter så får man heller inte minskade utsläpp. En lösning på detta dilemma skulle kunna vara att flyget inte inlemmas i samma system som konkurrensutsatt industri utan att det på dess utsläpp läggs en skatt motsvarande den som idag finns på bensin och diesel. Om det inte av olika skäl går att ta ut en skatt på utsläppen direkt bör andra skatteutformningar övervägas. Det bör här också hållas i minnet att internationella flygresor är befriade från moms, vilket ger en större konsumtion av flygresor än om så inte varit fallet.

Det finns således skäl att varna för en övertro på att utsläppshandel ska lösa alla problem. För det första är processen trög. För det andra behöver man ta hänsyn till att vissa utsläppskällor kan komma att flytta utanför EU om kostnaden för utsläppsrätter blir för hög, medan andra inte kan göra det. Eftersom det blir samma klimatpåverkan var utsläppen än sker så är det faktiskt kostnadseffektivt att särbehandla konkurrensutsatt industri. Flyget och andra delar av transportsystemet kan inte flytta utanför EU. Ett tredje skäl som gör att den teoretiska optimaliteten med utsläppsrätter inte går att överföra till praktiken är att vägtrafiken utgör en betydande skatteälla. Det är i princip möjligt att för trafiken ha både nationella skatter och ett system med utsläppsrätter, men då kommer inte systemet automatiskt att se till att utsläppsreduktionerna sker där det är billigast. Orsaken är att totalkostnaderna för samma utsläpp då kommer att variera i och med att de nationella skattesatserna är olika.

#### *Drivmedelsval för transportsektorn*

Som illustrerats av scenarierna i denna studie så kommer mängden tillgängligt biobränsle att utgöra en begränsning. Denna begränsning är förstås störst i de scenarier där tillgången på bioenergi är låg, men den finns även i scenarierna där tillgången på bioenergi antas vara förhållandevis stor. Även om Sverige har en i förhållande till omvärlden stor tillgång på biomassa per invånare så kan det vara ekonomiskt fördelaktigt att exportera biomassa för användning i kraftvärmeverk på kontinenten.

Hybrider som kan laddas via elnätet, s.k. plug-in hybrider har en stor potential att minska bilars energianvändning och utsläpp. I scenario 1 står plug-in-hybrider som körs på el laddad från nätet för ca 50 % av alla fordons-km med personbil (de antas kunna köra 5 mil på en laddning). För detta åtgår ca 5 TWh el, vilket kan jämföras med 10-13 TWh fossilt bränsle som skulle åtgå om förbränningsmotorer användes istället. I båda fallen antas att betydande effektiviseringar av fordonstekniken skett. Om motsvarande sträcka skulle köras med ett genomsnitt av dagens bilpark så

skulle energianvändningen bli ca 33 TWh.<sup>43</sup> Plug-in-hybrider finns inte idag på marknaden, men enligt personer i bilindustrin kan de komma att introduceras inom 3-10 år. Det är värt att notera att plug-in-hybrider har en bättre energiverkningsgrad än bränslecellsfordon, speciellt om man utgår från el men även om man utgår från biomassa som primärenergi (Åhman, 2001). Samtidigt är en avancerad dieselhybrid som använder t ex metanol bara marginellt sämre än en bränslecellsbil (Åhman, 2001). På grund av dessa förhållanden är det inte säkert att bränslecellsfordon är att föredra ens om de kommer ut på marknaden.

En strategi vad gäller fordon och drivmedel som kan ge förhållandevis snabbt resultat men inte riskerar att leda in i återvändsgränder skulle kunna se ut på följande sätt:

- Kraftfull satsning på att dagens bilflotta förnyas med de mest energieffektiva fordonen på marknaden (se diskussion av styrmedel ovan).
- Förberedande åtgärder för att snabbt ge incitament till inköp av plug-in-hybrider (eller fordon med likvärdiga egenskaper) när de kommer ut på marknaden. Samordnad (nationellt eller internationellt) teknikupphandling av plug-in-hybrider kan övervägas för att tidigarelägga en marknadsintroduktion.
- Stödjande av en mångfald av forsknings- och demonstrationsprojekt för andra generationens drivmedel från cellulosaråvara.
- Eventuellt: Verka för att 10 % inblandning av etanol i bensin tillåts inom EU.

## 5.4 Konsumtion/Produktion

Industrins produktion som de antagits i framtidsbilderna är ett resultat av antaganden om livsstil och konsumtionsmönster som antas återspegla en global utveckling. I verkligheten påverkas industrins verksamhet i Sverige av hur den globala produktionsutvecklingen och den internationella specialiseringen påverkar Sveriges industristruktur.

Hur lång tid det tar att förändra industrins energianvändning varierar mellan olika användningsområden och branscher. En pappersmaskin kan ha en livslängd på 40 år medan annan utrustning har betydligt kortare livslängd. Förutom ersättningsinvesteringar i existerande verksamhet görs nyinvesteringar i ny kapacitet och produktion, vilket innebär att industrins tillväxttakt och strukturella utveckling i stor utsträckning påverkar den specifika energianvändningen.

En minskning av den energiintensiva industrins andel och en ökning av den mindre energiintensivas andel kan ge betydande minskning av industrins energianvändning. I framtidsbilderna antar vi en strukturomvandling där de mindre energiintensiva branscherna får ökad betydelse. Denna utveckling kan påskyndas genom ekonomiska styrmedel som gör tjänster och resurseffektiva varor billigare och resurs-

---

<sup>43</sup> I framtidsbilderna sker elproduktionen i stort sett helt utan utsläpp av koldioxid

intensiva varor dyrare. Systemet med utsläppsrätter inom EU kan också verka i denna riktning under förutsättning att mängden utsläppsrätter minskar i sådan takt att tvågradersmålet kan nås. Här kan det dock uppstå problem om man blandar sektorer med olika förutsättningar i samma system, t ex energiintensiv industri och flygsektorn (se tidigare avsnitt i detta kapitel). Sverige bör inom EU verka för att utsläppstaket sänks i en takt som leder till betydande minskningar av utsläppen utan att industrier flyttar från EU-länderna.

FoU är ett annat verktyg för att effektivisera energianvändningen inom industrin. Ett exempel på stöd till FoU är Jernkontorets energiprogram 2006-2010 som stöds av Energimyndigheten. I programmet ingår flera delprojekt inom metallurgi, värmnings- och bearbetningsteknik. Målet är att minska energianvändning med ca 1 TWh/år eller 4,5-5 procent av stålindustrins energibehov och koldioxidutsläppen med 375 kton CO<sub>2</sub>/år. ([www.energimyndigheten.se](http://www.energimyndigheten.se)).

Ett styrmedel som Energimyndigheten ansvarar för är ”Program för energieffektivisering i energiintensiv industri” (PFE) som riktar sig till svenska energiintensiva industriföretag. Företagen ansluter sig till ett femårigt program och åtar sig att arbeta strukturerat med energifrågor och genomföra energieffektiviseringsåtgärder i utbyte mot att deras energiskatt reduceras. Resultaten från de första 98 företagen under de första två åren redovisades hösten 2006. Företagens elanvändning är tillsammans 29 TWh/år. Beräknad besparing är 1 TWh/år. Investeringarna är beräknade att kosta företagen 1 miljard kr. Den årliga kostnadsbesparingen beräknas till 500 miljoner kr för minskad elförbrukning och 150 miljoner kr i form av skattelättnad (Energimyndigheten 2006 b).

Märkningssystem för t ex klimatsnåla matvaror bör också övervägas även om det kommer vara svårt att hitta helt rättvisande kriterier.

## 5.5 Bebyggelse

Bebyggelsen tar lång tid att förändra. I scenarierna antas att volymen bostäder ökar med mellan 10 och 20 % fram till 2050. Lokalytan, som är beroende av tjänstenäringsornas storlek, ökar med mellan 10 och 45 %. Till 2050 antas att 10 procent av flerbostadshus och lokaler rivs. Småhus rivs i mycket liten utsträckning (Hedberg m.fl. 2003). Detta innebär att mellan 70 och 85 % av bebyggelsen år 2050 redan är byggd. Om den minskning på 32-46% av den specifika energianvändningen för uppvärmning som antas i scenarierna ska nås, ställer det stora krav på effektivisering i befintlig bebyggelse.

En viktig åtgärd är effektivisering av energianvändningen i samband med renovering och ombyggnad av befintlig bebyggelse. Snart står miljonprogrammet, d.v.s. den miljon bostäder som byggdes på 60- och 70-talet, inför en renovering. Dessa utgör en fjärdedel av det totala bostadsbeståndet i landet. Här finns ett ”möjlighetsfönster” för att på ett kostnadseffektivt effektivisera energianvändningen, som inte

återkommer på flera decennier. Det pågående projektet Brogården i Alingsås, är ett exempel på hus från miljonprogrammet där omfattande energieffektiviseringsåtgärder genomförs. Ombyggnad och effektivisering bör även stimuleras för befintliga småhus. En möjlighet att något minska energianvändningen i befintlig bebyggelse är att effektivisera styrning av uppvärmning. SMHI har utvecklat en metod som kombinerar information om en byggnads energitekniska egenskaper med lokala väderprognoser för att styra uppvärmningen. Detta skulle kunna ge 2 % minskning av den totala energianvändningen för bostäder och kontorslokaler ([www.smhi.se](http://www.smhi.se)).

Trenden idag är att energianvändningen i nybyggda hus ökar något. Samtidigt ges det exempel på mycket energieffektivt byggande, t ex i form av passivhus som de i Lindås utanför Göteborg. Dessa är mycket välisolerade och har en total energianvändning per kvadratmeter som är ca hälften av nya konventionella småhus. Vilka styrmedel krävs för att tillämpa denna energieffektiva teknik? Ansvarsförhållanden i byggnadsbranschen ger idag felaktiga incitament. Passivhus och andra mycket energieffektiva hus är dyrare att bygga men billigare i drift än konventionella hus. Statliga lån som omfördelar kostnaderna för energieffektivisering över tiden skulle kunna vara ett sätt att stimulera såväl nybyggnad av energieffektiva hus som ombyggnad av befintliga hus. I scenarierna i denna studie används värmepumpar för uppvärmning i de allra flesta småhus. I scenario 1, 3 och 5 där tillgången på bioenergi är förhållandevis låg är det till och med så att en del av flerbostadshusen och lokalerna värms med värmepumpar. Detta är något överraskande och behöver utredas ytterligare, men visar åtminstone att en större expansion av fjärrvärme till småhusområden är tveksam.

Till energianvändningen i byggnader hör också hushålls- och driftel. Det är viktigt att stimulera utveckling och användning av energisnåla apparater och belysning. Detta kan åstadkommas med energimärkningar, ekonomiska incitament och i vissa fall genom teknikupphandling.

## 6 Behov av vidare forskning

Att uppnå ett mer hållbart transport- och energisystem framstår på flera sätt som en ödesfråga för framtiden. Det har redan gjorts stora insatser på detta område inom separata forskningsfält – inte minst när det gäller att ta fram nya tekniska lösningar och att utveckla nya energislag. I denna pilotstudie har vi påbörjat en tvärvetenskaplig analys av hur hållbara energi- och transportsystem skulle kunna se ut och hur en omställning i en sådan riktning skulle kunna gå till. Forskningsområdet är mycket komplext och det tvärvetenskapliga angreppssättet krävande, men vi tror att det finns mycket att vinna på att fördjupa denna typ av studie där naturvetenskap, teknik och samhällsvetenskap kombineras. I det följande nämner vi ett urval av små och stora delområden där det finns behov av nya forskningsinsatser. Några av dessa, men knappast alla, skulle kunna ingå i en eventuell fördjupad framtidsstudie med övergripande systemperspektiv.

Framtida tillgång på bioenergi är ett viktigt forskningsområde, eftersom osäkerheten är mycket stor. I scenarierna i denna pilotstudie varierades mängden biobränsle vilket påverkade bränsleval och tekniklösningar i olika sektorer. Här finns en risk att man ska hamna i återvändsgränder. Frågan om potential för biomassa är komplex och kräver ett tvärvetenskapligt perspektiv. Det handlar om naturvetenskapliga aspekter på avkastning av biomassa och på biologisk mångfald, beteendevetenskapliga aspekter på globala kostval, etiska aspekter när ökad efterfrågan på energigrödor driver upp priset på mat för världens fattiga befolkning och det handlar om vilka institutioner som behöver byggas upp för att hantera problemet. I väntan på att kunskapen på dessa områden stärks så kan denna fråga antagligen hanteras genom mer utvecklade scenarier än vad som kunnat innefattas i den här föreliggande studien.

I denna studie har vi arbetat med globala och svenska alternativ för energitillförsel. Detta perspektiv skulle behöva kompletteras med en analys av hur den globala och Europeiska efterfrågan på olika energikvaliteter kan komma att utvecklas i olika scenarier. I och med att energimarknaderna globaliseras så påverkar detta i hög grad också Sveriges energi- och transportsystem. En viktig faktor i detta sammanhang är hur de klimatförändringar som inte går att förhindra kommer att påverka efterfrågan på energitjänster. Exempelvis kommer sannolikt uppvärmningsbehovet på tempererade breddgrader att minska, men samtidigt ökar behovet av kyla (som oftast kräver en högre energikvalitet, d.v.s. el) på annat håll. Den senare utvecklingen förstärks också av att det i utvecklingsländer kommer att efterfrågas mer kyla när inkomstnivån höjs. Även andra faktorer, med påverkan på energisystemet, i omvärlden kan behandlas med scenarioteknik, t ex prisutveckling på olja.

Eftersom kunskapen om vilka utsläppsnivåer som krävs för att jordens temperatur inte ska överskrida en viss nivå, t ex två graders ökning, är ofullständig är det viktigt att utveckla scenarier som når olika utsläppsminskningar. Det är t ex viktigt att

analysera om de lösningar som räcker för 80 % minskning av utsläppen lätt går att anpassa till en 90 % minskning eller om de utgör en återvändsgränd. Detta hänger också ihop med frågan hur minskningen av utsläpp kan fortsätta efter år 2050. Enligt Stern (2006) krävs en ytterligare halvering av utsläppen mellan 2050 och 2100. En fördjupad framtidsstudie på energi- och transportområdet skulle således behöva göra en utblick bortemot år 2100 (även om huvudfokus lämpligen ligger kring 2050). Detta är också angeläget på grund av de stora trögheterna som främst finns i bebyggelsemassan och infrastrukturen men också i den tunga industrins anläggningar och i flygplansflottan.

De senaste rapporterna från IPCC pekar på att det är bråttom att minska utsläppen. Detta sätter fokus på hur stora trögheterna och ledtiderna är i energisystemet som socioteknisk system. Det gäller både de beslutsprocesser som föregår olika beslut och de tekniska och ekonomiska trögheter som karakteriserar systemet. Båda dessa aspekter skulle behöva analyseras mer genomgående.

Denna studie har enbart behandlat utsläpp av växthusgaser. Att komplettera med en analys av synergier och konflikter med andra miljömål är en viktig uppgift. När det gäller andra utsläpp än växthusgaser är det sannolikt att synergierna överväger starkt. Det gäller också delvis för målet God bebyggd miljö (i vissa scenarier). När det gäller markanvändning, inte minst för bioenergiproduktion, finns det en risk för betydande konflikter med biologisk mångfald, ej övergödning m.m.

Transporter är generellt den enskilda sektor där det krävs mest ny kunskap. Dels står transporter för en ökande andel av utsläppen och dels är transporter intimt ihopkopplade med de flesta aktiviteter i samhället, inte minst i människors vardagsliv. En av flera viktiga frågor rör omfattningen av transporternas indirekta energianvändning och hur denna kan begränsas. Det rör sig om energi för byggande och underhåll av infrastruktur (vägar, järnvägar mm) tillverkning av fordon och produktion av bränslen. Denna indirekta energianvändning står för i storleksordningen 40-60% av transportsystemets totala energianvändning, men har inte fått den uppmärksamhet som denna stora andel motiverar.

Det finns en rad sociala, kulturella och politiska frågor och aspekter som framstår som angelägna att studera djupare inom energi- och transportsystemet. En stor del av resonemangen kring förändringar (kap 4) pekade på diskursiva maktaspekter, dvs problemdefinitioner, meningsstrukturer, tankemodeller som genomsyrar den allmänna diskussionen om en viss fråga, inte minst energi- och transportsystemet.

Vilka är de rådande diskurserna på de för klimat- och energifrågan relevanta politikområdena? Hur kommer de till uttryck i dagligt tal och i visioner och liknande från energipolitikens område? Vilka är deras historiska rötter? Vilka förgivettaganden vilar de på? Ett viktigt exempel på transportområdet är att mobilitet självklart ses som ett mål i sig. Går det att ändra detta paradigm och se mobilitet som ett av flera medel (IT och stadsplanering utgör två andra sätt) för att uppnå god tillgäng-

lighet till olika funktioner? I befintlig forskning finns det redan i dagsläget ett antal studier som har berört delar av detta område. Det finns ett behov av att syntetisera erfarenheterna från denna forskning. Viktigt är också att föra resonemanget ett steg vidare än vad som tidigare ofta gjorts, genom att ställa frågan hur rådande diskurser skapar förutsättningar för förändring.

En viktig fråga handlar om att se huruvida det i dagsläget kan skönjas spår av en förändring av etablerade tänkesätt? Vilka visioner och utopier – kanske också dystopier – formar samtida och framtida politik?

Även fördelningsfrågor framstår som en viktig problematik. Det finns en rad angelägna frågor att ställa kring både det nuvarande transport- och energisystemet, och dess fördelningspolitiska effekter. Likaledes framstår det som viktigt att analysera de fördelningspolitiska aspekterna av olika handlingsalternativ för framtiden. Vilka är vinnarna och förlorarna på ett omställt energisystem? Hur ser detta ut i ett svenskt perspektiv och i ett internationellt perspektiv? Hur påverkar detta förutsättningarna för en omställning av energisystemet nationellt och globalt?

De fördelningspolitiska aspekterna har också en tydlig koppling till frågan om acceptans; de fördelningspolitiska effekterna av rådande politik, samt av en eventuell framtida politik är en viktig dimension som påverkar de politiska partiernas ställningstaganden och ageranden, samt graden av acceptans hos väljarna. Ett konkret exempel är en övergång till mer energieffektiv teknik för bilar som drivs fram av ökade energipriser. I en sådan utveckling kan det vara de med sämst inkomster som har svårast att investera i ny teknik och därmed får minska sin rörlighet mest.

Ytterligare ett angeläget forskningsområde handlar om att tydligt fokusera den institutionella struktur som kringgärdar och konstituerar transport- och energisystemet i dagsläget. Det finns en struktur av lagar och regler, aktörer med olika makt och mandat som påverkar hur förändringsprocesser på transport- och energiområdet kan drivas. Institutionella aspekter kan också handla om normer och synsätt som är inskrivna i en organisation. Det finns ofta starkt etablerade synsätt på vad som är gott ledarskap och ett gott beslutsfattande. I Sverige har det exempelvis utvecklats en stark konsensustradition inom politik och planering, som påverkar hur frågor om hållbar utveckling har hanterats i praktiken. Det finns också en etablerad kultur som handlar om normer för relationen mellan medborgare och folkvalda, mellan experter och lekmän o.s.v. i det demokratiska beslutsfattandet.

De frågor som framstår som intressanta att ställa handlar därför om de rådande förutsättningarna för transport- och energisystemets institutionella ramverk. På vilket sätt utgör dessa villkor för förändring? Vilka problem kan identifieras med rådande strukturer, hur skulle en mer funktionell struktur kunna se ut? Vilka är hindren och möjligheterna för att åstadkomma förändring? Fokus kan riktas både mot den nationella och den internationella arenan.

## 7 Slutord

I denna studie har vi utformat fem scenarier som alla innebär en minskning av utsläppen av växthusgaser med 85 % fram till år 2050. Dessa scenarier är förstas inte de enda som kan tänkas nå målen. Vi hoppas dock att de ska kunna ge en uppfattning om karaktären av och storleksordningen på de förändringar som kan komma att krävas, om tvågradersmålet ska kunna uppnås och därmed de allvarligaste konsekvenserna av ett förändrat klimat undvikas. De olikartade scenarierna kan också ge underlag för en diskussion kring vilka framtider som kan vara att föredra ur olika perspektiv.

Det är inte säkert att tvågradersmålet uppfylls även om det globala utsläppsmålet för år 2050 – 1,15 ton koldioxidekvivalenter per person – som vi utgått ifrån nås. Kunskapen om hur klimatsystemet reagerar är ofullständig. Fram till slutet av detta sekel behöver utsläppen dessutom fortsätta att minska; enligt Stern (2006) behöver de åtminstone halveras mellan år 2050 och år 2100 och enligt Miljövårdsberedningen (2007) behöver de under samma period minska till ”nära nog noll”. Detta är något som också bör hållas i minnet när dagens beslut tas gällande inte minst långlivade strukturer som bebyggelse, vägar, järnvägar och flygplatser.

Vi har fokuserat på det svenska energi- och transportsystemet men antagit att utsläppsnivåerna per person i scenarierna ligger på samma nivå som för det globala genomsnittet år 2050. Detta innebär att de aktivitetsnivåer som vi här antar för den svenska befolkningen i stora drag skulle kunna generaliseras till den globala befolkningen, även om anpassning efter lokala förhållanden förstas skulle ske i praktiken.

Den typ och omfattning av förändringar som exemplifieras i scenarierna kommer knappast att kunna ske friktionsfritt. En del av dagens starka aktörer har bidragit till problembilden och behöver ompröva sin verksamhet. En del av hushållens dagliga inrotade vanor behöver förändras. Med den nya kunskap som framkommit bara de senaste åren, så är det dock alltmer tydligt att alternativet, att vänta och se, kommer att innebära betydligt allvarligare både sociala och ekonomiska konsekvenser.

## 8 Referenser

- Ahmad, Q.K. Policies and strategies for sustainable development in Bangladesh  
Futures, 24 (9), p.879-893, Nov 1992.
- Abernethy, V. Changing the USA's population signals for a sustainable future.  
Futures, 26 (2), p.138-145, Mar 1994
- Andersson, Björn A (2000), Materials availability for large-scale thin-film photovoltaics, Progress in photovoltaics: Research and applications 8, 61-76 (2000).
- Alingsåshem, Alingsåshem bygger för en hållbar framtid, [www.alingsashem.se](http://www.alingsashem.se)
- Andersson, Björn A (2000), Materials availability for large –scale thin-film photovoltaics. Progress in Photovoltaics 8: 61-76.
- Andersson, E (1996), Järnvägens energiförbrukning i framtiden. Järnvägsteknik, Inöst för farkostteknik, KTH.
- Andersson, E & Lukaszewicz, P (2006), Energy consumption and related air pollution for Scandinavian electric passenger trains. Report KTH/AVE 2006:46.
- Andersson, Klas & Filip Johnsson (2006), Process evaluation of an 865 MWe lignite fired O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> power plant. Energy Conversion and Management, Vol 47, Issue 18-19, November 2006, 3487-3498.
- Andréasson, H (1998) ”Göteborgarna och kollektivtrafiken”, i Sturesson, L (red) (1998) Den attraktiva bilen och den problematiska bilismen. En antologi. KFB-rapport 1998:39.
- Andréasson, H (2000) Resenärer i bilsamhället. Vardagligt resande i kulturell belysning. Skrifter från etnologiska föreningen i Västsverige nr 30. Göteborg 2000.
- Anshelm, J (2000) Mellan frälsning och domedag. Om kärnkraftens politiska idéhistoria i Sverige 1945-1999. Brutus Östlings Bokförlag Symposion, Eslöv 2000.
- Asplund, E & Hilding-Rydevik, T (red) (2001) Arena för hållbar utveckling. Aktörer och processer. KTH Institutionen för infrastruktur och samhällsplanering. Stockholm 2001.
- Asplund, E & Skantze, A (2005) Hållbar utveckling i praktiken. Möten, gränser, perspektiv. Stockholm 2005.
- Asplund, J (1979) Teorier om framtiden. Stockholm: Liber.
- Azar, C & Lindgren, K (1998), Energiläget år 2050, Naturvårdsverket 1998:04
- Azar, C, Lindgren, K, Andersson, B A (2003); Global energy scenarios meeting stringent CO<sub>2</sub>-constraints – cost-effective fuel choices in the transportation sector. Energy Policy 31 (2003) 961-976.

Azar, C., och Larson, E.D. (2000) Bioenergy and land-use competition in North-east Brazil. *Energy for Sustainable Development*. Volume IV No. 3 October 2000.

Banister, D, Stead, D, Steen, P, Dreborg, K H, Åkerman, J, Nijkamp, P & Schleicher-Tappeser, R (2000), *European Transport Policy and Sustainable Mobility*, E and FN Spon, London.

Beckman, S (1992) "Tröghet, livsstil och miljö" I Lundgren, L J (red) *Livsstil och miljö. På väg mot ett miljövänligt beteende? (AFR-report 4)* Solna: Statens Naturvårdsverk.

Berndes, G. (2002) Bioenergy and water – the implications of large scale bioenergy production for water use and supply. *Global Environmental Change* 12 (2002) 253-271.

Berndes, G., Hoogwijk, M. och van den Broek, R. (2003) The contribution of biomass in the future global energy supply: a review of 17 studies. *Biomass and Bioenergy* 25:1-28.

Biobränslekommissionen (1992) *Biobränsle för framtiden: slutbetänkande av biobränslekommissionen*. SOU 1992:90-91. Allmänna förlaget. Stockholm, Sweden. ISSN 0375-250X

Bladh, M (2006) "Hughes teori om stora tekniska system", *Historisk tidskrift* nr 1 2006.

Brikell, B H (2000) *Negotiating the International Waste Trade*, Örebro studies in Political Science 2, Örebro 2000.

Broms Wessel, O, Bradley, K, Tunström, M (red) (2005) *Bor vi i samma stad? Om stadsutveckling, mångfald och rättvisa*. Pocky förlag.

Byström, M. och Einarsson, P. (2006) *Biologisk mångfald i jordbruket är ingen lyx. I. I Jordbruk, handel och utveckling. Mot ökad samstämmighet*. Kungl. Skogs- och Lantbruksakademien, Stockholm.

Börjesson, P., Gustavsson, L., Christersson, L. & Linder, S. (1997) *Future Production and Utilisation of Biomass in Sweden: Potentials and CO2 Mitigation*. *Biomass and Bioenergy* 13, 399-412.

Börjesson, P. (1999a) *Environmental effects of energy crop cultivation in Sweden: identification and quantification*. *Biomass and Bioenergy* 16 (1999) 137-154.

Börjesson, P. (1999b) *Environmental effects of energy crop cultivation in Sweden: economic valuation*. *Biomass and Bioenergy* 16 (1999) 155-170.

Börjesson, P., Berndes G., Fredriksson, F., Kåberger, T. (2002) *Multifunktionella odlingar. Slutrapport. Miljö- och energisystemstudier*, Institutionen för Teknologi och Samhälle, Lunds Universitet.

Börjesson, Pål (2007), Förädling och avsättning av jordbruksbaserade biobränslen, Rapport nr 62, Lunds Tekniska Högskola.

Carrere, R. och Lohmann (1996) *Pulping the South*. Zed Books.

Christian Azar & Kristian Lindgren (1996?), *Energiläget 2050*.

Churie Kallhague, A (2004) *Managing complexity in multilateral environmental negotiations. Capacity Development, Synergies and Structural Reform*. KTH Licentiate Thesis. Stockholm 2004.

Clark, M. Domestic futures and sustainable residential development *Futures*, 33 (10), p.817-836, Dec 2001.

Dings, Jos M. W., Peeters, Paul M., van der Heijden, Joost R., Wijnen, Roland A.A. (2000) *ESCAPE - Economic Screening of Aircraft Preventing Emissions*. Main report, CE, Delft.

Dreborg, Karl-Henrik (1996), *Essence of backcasting*. *Futures*, November, s 813-828.

Duleep, K.G., 1997. *Keep on truckin – Sustainably?*, in DeCicco, J., Delucchi, M. (Eds), *Transportation, energy and environment: How far can technology take us?*, the American Council for an Energy-Efficient Economy, Washington, D.C.

Dyrberg, T B (1997) *The Circular Structure of Power. Politics, Identity, Community*. Verso, London & New York 1997.

ECMT (European Conference of Ministers of Transport) (1996), *Infrastructure-Induced Mobility, Report of the 105th Round Table, Paris, 7-8 November 1996 (75 98 07 1 P)*, Jun-98, 308 pages, ISBN 92-821-1232-2, FF400.

EEA (2005), *Climate change and a European low-carbon system*. European Environment Agency.

Ekström, C m.fl., (2006) *Tekniska åtgärder i Sverige för att undvika framtida koldioxidutsläpp från produktion och användning av energi*, Elforsk rapport 05:47

Elforsk (1996), *Ett uthålligt elsystem för Sverige*, Elforsk rapport 96:9.

Elforsk (2003), *El från nya anläggningar*, Elforsk rapport 03:14.

Energimyndigheten (1998) *SAME Delrapport – Ett uthålligt energisystem, Energi-användningsnivåer 2050*

Energimyndigheten, Naturvårdsverket (2000) *Energianvändning inom industrin*. EMIL 2

Energimyndigheten (2003), *Energiläget 2003*.

Energimyndigheten/Naturvårdsverket (2004), Prognoser över utsläpp av växthusgaser Delrapport 1 i Energimyndighetens och Naturvårdsverkets underlag till Kontrollstation 2004.

Energimyndigheten (2005), Energiläget 2005.

Energimyndigheten (2006 a), Energiläget 2006.

Energimyndigheten (2006 b), Två år med PFE, de första redovisade resultaten

Energimyndigheten (2006 c), Oljans ändlighet – Ett rörligt mål! ER 2006:21.

Energimyndigheten (2007 a), Långsiktsprogno 2006-enligt det nationella systemet för klimatrapportering, ER 2007:2

Energimyndigheten/Naturvårdsverket (2007 b), Prognoser över utsläpp och upptag av växthusgaser. Delrapport 1 i Energimyndighetens och Naturvårdsverkets underlag till Kontrollstation 2008.

Energimyndighetens hemsida ([www.energimyndigheten.se](http://www.energimyndigheten.se), juni 2007)

Ericsson, K och Nilsson, L., J. (2006) Assessment of the potential biomass supply in Europe using a resource-focused approach. *Biomass and Bioenergy* 30 (2006) 1-15.

Eriksson, O., Finnveden, G., Ekvall, T. and Björklund, A (2007) Life Cycle Assessment of fuels for district heating. A comparison of waste incineration, biomass and nature gas combustion. *Energy Policy*, 35 (2007) 1346-1362.

Faber, J m fl (2007), Aviation and maritime transport in a post 2012 climate policy regime. CE report 06.7153.59.

Falkemark, G (1999), Politik, lobbyism, manipulation. Svensk trafikpolitik i verkligheten. Nya doxa, Nora 1999.

Falkemark, M. och Rockström, J. (2006) Räcker vattnet för att häva hungern i världen? – En felställd fråga. I *Jordbruk, handel och utveckling. Mot ökad samstämmighet*. Kungl. Skogs- och Lantbruksakademin, Stockholm.

FAO (1998) FAO statistical database. FAOSTAT database collections on food balances, land use and irrigated areas. Rom (<http://apps.fao.org>)

FAO (2003) FAO stat database. Rom. Tillgänglig via <http://apps.fao.org/page/collections>.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) (1999), Statistical Databases on the Internet. <http://apps.fao.org/cgi-bin/nph-db.pl?subset=agriculture>. Rom.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) (1993), *Agriculture: Towards 2010*. FAO Conference (27th Session), Rom.

- Finnveden, G., Johansson, J., Lind, P. and Moberg, Å. (2000) Life Cycle Assessments of Energy from Solid Waste. fms report 137. Tillgänglig på [www.infra.kth.se/fms/](http://www.infra.kth.se/fms/)
- Finnveden, Göran och Sterner, Thomas (2007), Reflektioner på samhällsekonomiska analyser i allmänhet och på kalkylen för nord-sydliga förbindelser i synnerhet. KTH Trita-Infra-Fms 2007:1.
- Fischer, G., och Heilig, G.K. (1998), Population Momentum and the Demand on Land and Water Resources. Report IIASA-RR-98-1. International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenbug, Österrike.
- Fischer, G., och Heilig, G.K. (1998), Population Momentum and the Demand on Land and Water Resources. Report IIASA-RR-98-1. International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenbug, Österrike.
- Flyvbjerg, B & Richardson, T (2002) "Planning and focuault. In search of the dark side of planning theory", in Allmendinger, P & Tewdwr-Jones, M (eds) Planning Futures: New Directions for Planning Theory. Routledge 2002.
- Forster, Piers M de F, Shine, Keith P, Stuber, Nicola (2006), It is premature to include non-CO2 effects of aviation in emission trading schemes. Atmospheric Environment 40 (2006) 1117-1121.
- FN (2007) World Population Prospects: The 2006 Revision. United Nations Division of Economic and Social Affairs, Population Division. Tillgänglig på <http://www.un.org/esa/population/publications/wpp2006/wpp2006.htm>
- Foucault, M (1976) The history of Sexuality. Volume 1. Penguin books, London 1990.
- Friman, E (2002) No limits: the 20th century discourse of economic growth. Umeå 2002.
- Frändberg, L & Vilhelmson, B (2002), Rörlighetens internationalisering – Den svenska befolkningens utlandsresande 1994-2000. Occasional papers 2002:2. Göteborgs universitet.
- Gilland, B. (2002) World population and food supply. Can food production keep pace with population growth in the next half-century. Food Policy (2002) 47-63.
- Gode, Jenny & Hovsenius Gunnar (2005), Avskiljning och lagring av koldioxid i ett nordiskt systemperspektiv. Elforsk Rapport 05:27.
- Goldenberg m fl (2000), World energy assessment: energy and the challenge of sustainability.
- Green, J.E. (2002) Greener by design – the technology challenge. The Aeronautical Journal, February, 57-113.

- Gullberg och Isaksson, kommande publikation om försöket med införande av trängselskatter i vägtrafiken i Stockholm.
- Gullberg, A, Höjer, M, Pettersson, R (2007) Bilder av framtidsstaden. Tid och rum för hållbar utveckling. Stockholm/Stehag: Brutus Östlings Bokförlag Symposion 2007.
- Hagman, O (1998) "Om bilismens utveckling och mening" i Sturesson, L (red) (1998). En antologi. KFB-rapport 1998:39.
- Hagström, P. (2006) Biomass Potential for Heat, Electricity and Vehicle Fuel in Sweden. Volume I. Doktorsavhandling vid Institutionen för Bioenergi, SLU, Uppsala. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae 2006: 11.
- Hall, D.O. (1997), Biomass Energy in Industrialized Countries: A View of the Future. Forest Ecology and Management 91:17-45.
- Ham, C & Hill M 1993: The Policy Process in the Modern Capitalist State. Harvester/Wheatsheaf, New York London 1993.
- Hammarlund, K (2002) Den visuella störningsupplevelsen från vindkraftverk. Mellanrum Landskapsarkitekter 2002.
- Hammarlund, K (2003) "Landskap och vindkraft – I medvind eller motvind", Seminarium den 9 april 2002. Sammanfattning av föredrag och diskussion. Kungliga Skogs- och Lantbruksakademins tidskrift 142:14, 2003. Henderson, ...
- Hedberg, L m.fl. (2003) Rum för framtiden, FOI-R—0854—S
- Hedén, J (1994) Miljöpolitikens natur. Linköping Studies in Arts and Science nr 110.
- Hedén, J (2002) (red) Naturen som brytpunkt. Om miljöfrågans mystifieringar, konflikter och motsägelser. Symposion.
- Hermansson, C (2002) Det återvunna folkhemmet. Tevejournalistik och miljöpolitik i Sverige 1987-1998. Linköping Studies in Arts and Science no 252.
- Hoogwijk, M., Faaij, A., van den Broek, R., Berndes, G., Gielen, D. och Turkenburg, W. (2003) Exploration of the ranges of the global potential of biomass for energy. Biomass and Bioenergy. 25 (2003) 119-133.
- Hughes, T P (1983) Networks of Power. Electrification in Western society, 1880-1930. Baltimore: John Hopkins University Press.
- Höjer, Mattias & Mattson, Lars-Göran (2000), Determinism and backcasting in future studies. Futures 32 (7), 613-634.
- IEA (2006), World energy outlook 2006. International Energy Agency.
- IEA (International Energy Agency) (1998), Proceedings of the Conference on Biomass Energy: Data, Analysis and Trends. March 23-24, Paris.

Ingelhart, R & Flanagan, S C (1987) "Value Change in Industrial Societies", The American Political Science Review, Vol. 81, No. 4. (Dec 1987), pp 1289-1319.

Ingelhart, R (1971) "The Silent Revolution in Europe: Intergenerational Change in Post-Industrial Societies" The American Political Science Review, Vol 65, No. 4, (Dec 1971), pp 991-1017.

Interlaboratory Working Group, 1997. Scenarios of U.S. Carbon Reductions: Potential Impacts of Energy Technologies by 2010 and Beyond. Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley and Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge.

IPCC (1999), Aviation and the Global Atmosphere. A Special Report of IPCC Working Groups I and III, Cambridge University Press, Cambridge.

IPCC (2000), Special Report on Emission Scenarios. Cambridge University Press, Cambridge.

IPCC (2001 a), The scientific basis. I Houghton, J.T., Ding, Y., Griggs, D.J., Noguer, M., Van der Linden, P.J., Dai, X. Maskel, K. och Johnson, C.A. (eds). Contribution of working group I to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press, Cambridge, UK och New York USA.

IPCC, (2001 b). Climate Change 2001: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Third Assessment Report of the IPCC Cambridge University Press, Cambridge.

IPCC (2005), Special report on carbon dioxide capture and storage. Intergovernmental Panel on Climate Change.

IPCC (2007), Mitigation of Climate Change, IPCC Fourth Assessment Report, Working Group III.

Isaksson, K (2001) Framtidens trafiksystem? Maktutövningen i konflikterna om rummet och miljön i Dennispaketets vägfrågor. Linköping Studies in Arts and Science no 231.

IVA (2002) Energianvändning i industrin, En faktarapport inom IVA-projektet Energiframsyn Sverige i Europa

IVA (2003 a), Energiframsyn Sverige i Europa.

IVA (2003 b), Energi 2050, närmare solen.

Jansson, Jan-Owen (2001), Bortom Dennispaketet. Vinnova VD 2001:2.

Johansson, B (1993), Kan transporterna klara miljömålen?, Transportforskningsberedningen

Johnsson, B. (2006) Bioenergi – ny marknad för jordbruket. Jordbruksverket, Marknadsenheten. Rapport 2006:1.

- Kaijser, A (1994) I fädrens spår, Carlssons.
- Kaijser, A, Mogren, A, Steen, P (1988) Att ändra riktning: villkor för ny energipolitik. Stockholm, Allmänna förlaget 1988.
- Karlsson, S (2000) Multilayered Governance. Pesticides in the South – environmental concerns in a globalised world. Linköping Studies in Arts and Science no 218.
- Klöfver, H (1995) Miljömedvetenhet och livsstil bland organiserade ungdomar. Linköping Studies in Arts and Science no 126. Linköping 1995.
- Kommissionen mot oljeberoende (2006) På väg mot ett oljefritt Sverige. Informationsmaterial. Stadsrådsberedningen. Tillgänglig på <http://www.regeringen.se/sb/d/108/a/66280>.
- Kronsell, A (1997), Greening the EU. Power Practices, resistancies, and agenda setting. Lund University press, Lund 1997.
- Lipsky, M (1980) Street-level bureaucracy. Dilemmas of the individual in public services. New York, Russel Sage Foundation 1980.
- LRF (2005) LRF:s energiscenario till år 2020. Förnybar energi från jord och skogsbruket ger nya affärer och bättre miljö. En sammanställning av omvärldsförändringar, potentialer och marknader. Huvudförfattare Erik Herland. Andra remissversionen, februari 2005. Tillgänglig på [www.lrf.se](http://www.lrf.se).
- Luijten, J.C. (1995) Sustainable World Food Production and Environment. AB-DLO Report no 37. AB-DLO, Wageningen, Nederländerna.
- Lukes, S (1974) Power: A radical view. MacMillan press LTD, London 1977.
- Lundgren, L J (red) Livsstil och miljö. På väg mot ett miljövänligt beteende? (AFR-report 4) Solna: Statens Naturvårdsverk.
- Lönner, G., Danielsson, B.-O., Vikinge, B., Parikka, M., Hektor, B. & Nilsson, P.O. (1998) Kostnader och tillgänglighet för trädbränslen på medellång sikt. SLU, Institutionen för Skog-Industri-Marknad Studier (SIMS). Rapport 51. ISSN 0284-379X.
- Lönnroth, Måns, Johansson, Thomas B, Steen, Peter (1979), Sol eller uran – att välja energiframtid.
- Martinsson, M (2001) Ozonskiktet och risksamhället: en studie av den svenska politiska diskussionen rörande ozonskiktet 1968-1992. Linköping Studies in Arts and Science nr 243.
- Melin, C (2000) Makten över trafikpolitiken. Korporatism, lobbying och opinionsbildning inför 1998 års transportpolitiska beslut. Acta universitatis Upsaliensis. skrifter utgivna av Statsvetenskapliga föreningen i Uppsala, 141.

Mels Sanna (2003) Havsbaserad vindkraft och socioekonomiska konsekvenser: en studie i Torsås kommun. Handelshögskolan i Kalmar, BBS, 2003.

Miljövårdsberedningens rapport 2007:03, Vetenskapligt underlag för klimatpolitiken.

Möllersten, Kenneth, Gao, Lin, Yan, Jinyue, Obersteiner, Michael (2004), Efficient energy systems with CO<sub>2</sub> capture and storage from renewable biomass in pulp and paper mills. *Renewable Energy* 29 (2004) 1583-1598.

Nakicenovic m.fl. (2001), Special report on emission scenarios, IPCC.

Naturvårdsverket (2005), Rapport 5495 Framtidsstudier - erfarenheter och möjligheter.

Naturvårdsverket (2006 a), Uppdatering av 2004-års prognos för utsläpp av växthusgaser 2010

Naturvårdsverket (2006 b), Utsläppsrapportering av växthusgaser – enligt EU:s övervakningsmekanism och klimatkonventionen, PM 2006-12-07.

Olsson, R., Rosenqvist, H., Vinterbäck, J., Burvall, J. och Finell, M. (2001) Rörflen som Energi- och Fiberråvara. En System- och Ekonomistudie. SLU, Enheten för biomassteknologi och kemi, Rapport 2001:4.

Oscarsson, H (2000) Spår i framtiden. Ung-SOM-undersökningen, Västsverige 2000. SOM-rapport 28.

Palm, J (2004) Makten över energin – policyprocesser i två kommuner 1977-2001. Linköping studies in Arts and Science no 289. Linköping 2004.

Parry, M., Rosenzweig, C., Iglesias, A., Fischer, G., och Livermore, M. (1999) Climate change and world food security: a new assessment. *Global Environmental Change* 2002;12(4):253-71

Peeters Advies (2000) Designing aircraft for low emissions; technical basis for the ESCAPE project. P.M. Peeters, Ede.

Polk, M (1998) ”Kvinnan och bilen i Sverige”, i Stureson, L (red) (1998) Den attraktiva bilen och den problematiska bilismen. En antologi. KFB-rapport 1998:39.

Profu (2006a) Tillgången på förnybar energi – en litteraturstudie över utförda potentialstudier. Preliminär slutrapport till Energimyndigheten.

Profu (2006b) Behandlingskapacitet för organiskt avfall i Sverige. RVF-rapport 2006:10. ISSN 1103-4092.

Raattamaa, L M (2005) ”Sprawl nation vs. Metronormativiteten”, i Broms Wessel, O, Bradley, K, Tunström, M (red) (2005) Bor vi i samma stad? Om stadsutveckling, mångfald och rättvisa. Pocky förlag.

- Robinson, J (1990), Futures under glass: a recipe for people who hate to predict. Futures, October, s 820-842.
- Rogner, H.H. (red) (2000), Energy resources. I Goldenberg, J. (red.) World Energy Assessment. Energy and the challenge of sustainability. United Nations Development Programme, United Nations Department of Economic and Social Affairs, World Energy Council. UNDP Bureau for Development Policy, New York.
- Romm, Joseph (2006), The car and fuel of the future. Energy Policy 34 (2006) 2609-2614.
- Ruud, S, Lundin, L (2004) Bostadshus utan traditionellt uppvärmningssystem - Resultat från två års mätningar, SP Rapport 2004:31
- SACTRA (1994), Trunk Roads and the generation of Traffic, The Standing Advisory Committee on Trunk Road Assessment, Chairman: Mr D A Wood QC, The Department of Transport, London.
- Sausen, Robert et al (2005), Aviation radiative forcing in 2000: An update on IPCC 1999, Meteorologische Zeitschrift, Vol. 14, No. 4, 555-561, August 2005
- SCB (2002), Jordbruksstatistisk årsbok 2002 med data om livsmedel. Sveriges officiella statistik, Jordbruksverket och Statistiska centralbyrån. Tillgänglig på [www.scb.se](http://www.scb.se).
- SCB (2004), Markanvändning i riket efter markanvändningsklass. År 2000. Senast uppdaterad 2004-08-17. Tillgänglig på [www.scb.se](http://www.scb.se). Hämtad 2006-12-15.
- SCB (2006a) Energistatistik för småhus, flerbostadshus och lokaler 2005, EN 16 SM 0604
- SCB (2006b) Årliga energibalanser 2004-2005, EN 20 SM0605).
- SCB (2006 c), Sveriges framtida befolkning 2006-2050. Demografiska rapporter 2006:2.
- SCB, (2007) El, gas och fjärrvärmeförsörjningen 2005, EN 11 SM 0701
- SCB, (Statistiska centralbyrån) (2005), Årliga energibalanser 2003-2004, EN 20 SM 0506
- SCB, Miljöräkenskapernas hemsida. ([www.mirdata.scb.se](http://www.mirdata.scb.se)) Maj 2007.
- SIKA (2000) Informations- och kommunikationsteknik i Sverige. En lägesrapport 2000. Stockholm.
- SIKA (2006 a), Inrikes och utrikes trafik med svenska lastbilar, år 2005. SIKA Statistik 2006:23 Korrigerad.
- SIKA (2006 b), Utrikes och inrikes trafik med fartyg 2005, SIKA Statistik 2006:16.

SIKA (2007), Luftfart 2006, SIKA Statistik 2007:14.

SIKA/SCB "Godstransportarbetets utveckling och totalt körda kilometer 2005 (xls)"[http://www.sika-institute.se/Templates/Page\\_\\_\\_66.aspx](http://www.sika-institute.se/Templates/Page___66.aspx) (07-09-07).

Sharma, S. People vs. poverty: Powering through partnership Futures, 39 (5), p.625-631, Jun 2007.

SLU (2004) Uppdrag rörande den framtida användningen av bioenergi i Sverige. Rapportering av uppdrag från Regeringskansliet. Fakulteten för skogsvetenskap, SLU.

Smeets, E.M.W., Faaij, A.P.C., Lewandowski, I.M. och Turkenburg, W.C. (2007) A bottom-up assessment and review of global bio-energy potentials to 2050. Progress in Energy and Combustion Science 33 (2007) 56-106.

SMHI, Minskade CO2 utsläpp med hjälp av lokala väderprognoser, [www.smhi.se](http://www.smhi.se) (Juni, 2007).

Soneryd, L (2002) Environmental Conflicts and Deliberative Solutions? A Case Study of Public Participation in EIA in Sweden. Örebro Studies in Sociology 5.

SOU 1998:32, Läge för vindkraft.

SOU 2006:81. Skogsutredningen. Mervärdesskog. Slutbetänkande från Skogsutredningen 2004.

Steen, Peter, Dreborg, Karl-Henrik, Henriksson, Greger, Hunhammar, Sven, Höjer, Mattias, Rignér, Johan & Åkerman, Jonas (1997), Färder i framtiden – Transporter i ett bärkraftigt samhälle, KFB-Rapport 1997:7, Stockholm.

Stern, Nicholas (2006), STERN REVIEW: The Economics of Climate Change

Storbjörk, S (2001) Vägskal. Miljöfrågan, subpolitiken och planeringsidealets praktik i fallet Riksväg 50. Linköping Studies in Arts and Science no 230.

Stripple, H, Sternhufvud C, Skårman T (2005), Utredning om möjligheterna att minska utsläppen av fossil koldioxid från mineralindustrin, IVL Rapport B 1651, oktober 2005r

Sturesson, L (2000) Distansarbete – teknik, retorik, praktik. Carlssons, Stockholm 2000.

Sturesson, L (red) (1998) Den attraktiva bilen och den problematiska bilismen. En antologi. KFB-rapport 1998:39.

Svebio (2003), Bioenergi – en översikt. Fokus Bioenergi Nr 1 2003. Tillgänglig på [www.svebio.se](http://www.svebio.se).

SVEBIO (2004) Fokus Bioenergi. Nr 2 2004. Trädbränslen. Tillgänglig på [www.svebio.se](http://www.svebio.se).

Transek (2000), Förbifart Stockholm. Trafikanalys och samhällsekonomisk kalkyl, i Vägverket Region Stockholm. RAP 2000:0434.

Trygg, L (2006) Swedish industrial and energy supply measures in a European system perspective, Linköping Studies in Science and Technology, Dissertation No. 1049

Turkenberg, W.C. (red.) (2000) Renewable energy technologies. I Goldenberg, J. (red.) World Energy Assessment. Energy and the challenge of sustainability. United Nations Development Programme, United Nations Department of Economic and Social Affairs, World Energy Council. UNDP Bureau for Development Policy, New York.

Uddin, Sk Noim & Barreto, Leonardo (2007), Biomass-fired cogeneration systems with CO<sub>2</sub> capture and storage. Renewable Energy 32 (2007) 1006-1019.

UNDP (2000), World Energy Assessment – Energy and the Challenge of Sustainability.

Uppenberg, Stefan m.fl. (2001), Miljöfaktabok för bränslen – Del 2. Bakgrundsinformation och teknisk bilaga. IVL report B 1334B-2, Stockholm.

Vägverket (2001), Well-to-wheel-efficiency for alternative fuels from natural gas or biomass, Ecotraffic för Vägverket, Publikation 2001:85.

Vägverket (2004), Klimatstrategi för vägtransportsektorn. Publikation 2004:102.

Vägverket (2007), Underlag till infrastrukturplaneringen 2010-2019 vägtransportsektorn, Del 1. vad kan åstadkommas vid olika ekonomiska ramar? Publikation 2007:78.

WEA (World Energy Council) (1998), Survey of Energy Resources 1998. London.

WEC (World Energy Council) (1994), New Renewable Energy Resources: A Guide to the Future. London: Kogan Page Limited.

Winther, Jörgensen, M & Phillips, L (2000) Diskursanalys som teori och metod. Studentlitteratur.

Wirén, E (1998), Planering för säkerhets skull, Studentlitteratur, Lund 1998.

Wit, R C N, Boon, B H, van Velzen, A, Cames, M, Deuber, O, Lee, D S (2005), Giwing wings to emission trading. CE, Delft.

Wittrock, B (1980) Möjligheter och gränser. Framtidsstudier i politik och planering. Stockholm: Liber.

VMR (Virkesmätning och Redovisning) (2004) Skogsindustrins virkesförbrukning samt produktion av skogsprodukter 1999-2003. Sundsvall.

Wolf, J., Bindraban, P.S., Luijten, J.C. och Veeshouwers, L.M. (2003) Exploratory study on the land area required for global food supply and the potential global production of bioenergy. *Agricultural Systems* 76 (2003) 841-861.

WRI (World Resources Institute) (1998), *World Resources 1998-99*. Oxford University Press, Oxford.

Åhman, Max (2001), Primary energy efficiency of alternative powertrains in vehicles. *Energy* 26, 973-989.

Åkerman, Jonas & Höjer, Mattias (2006) How much transport can the climate stand? – Sweden on a sustainable path in 2050, *Energy Policy*, Vol 34/14 pp 1944-1957.

Åkerman, Jonas (2005), Sustainable Air Transport – On Track in 2050, *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 10, 111-126.

Åkerman, Jonas, Dreborg, Karl-Henrik, Henriksson, Greger, Hunhammar, Sven, Höjer, Mattias, Jonsson, Daniel, Moberg, Åsa & Steen, Peter (2000), *Destination framtiden - Vägar mot ett bärkraftigt transportsystem*, KFB-rapport 2000:66.

Öblad, C (1998) "Bilen som existentiellt rum – att spela musik i bilen", i Sturesson, L (red) (1998) *Den attraktiva bilen och den problematiska bilismen*. En antologi. KFB-rapport 1998:39.

## 9 Bilaga 1: Beräkningsunderlag

I denna bilaga redovisas underlaget för beräkningarna av energianvändning och utsläpp av växthusgaser i Teknikscenariot och de fem scenarier som utformats för att nå utsläppsmålet. För diskussion av de olika antagandena hänvisar vi till respektive textavsnitt, främst i kapitel 2.

				Teknikscenario										
2005				2050										
	Specifik energi	Aktivitet	Aktivitet per capita	Energi NETTO	Specifik energi förändring	Aktivitetsförändring	Volym	Uppräkning för förluster	Biobränsle	Fossilt bränsle	El	Växthusgaser		
	(kWh/personkm)	(Mdr personkm)	(personkm/person)	(kWh/person)		(per person)	(personkm/tonkm)		(kWh/person)	(kWh/person)	(kWh/person)	(kg CO2-ekv per person)		
<b>Kortväga resande (&lt;100km)</b>														
Bil, Totalt	0,65	64,4	7074	4 598		25%	8 843							
Bil, fossilt					-70%		2 653	1,1		569		148		
Bil, biodrivmedel					-70%			1,67	0					
Bil, eldrift					-85%		6 190	1,05			634			
Buss	0,30	6,1	670	201	-60%	0%	670	1,1		88		23		
Spår	0,12	4,7	516	62	-50%	0%	516	1,08			33			
<b>Långväga resande (&gt;100km)</b>														
Bil, Totalt			0	900		38%	4 139							
Bil, fossilt	0,30	27,3	2999		-60%		4 139	1,10		546		142		
Bil, biodrivmedel			0		-60%		0	1,67	0					
Buss	0,13	3,2	352	46	-40%	-50%	176	1,06		15		4		
Spår	0,10	4,2	460	46	-45%	40%	643	1,08			38			
Färja (ca 20 knop)	0,60	2,4	258	155	-35%	20%	310	1,06		128		35		
Snabbfärja (28-40 knop)	1,80	0,3	27	49	-50%	20%	33	1,06		31		8		
Flyg	0,44	31,8	3495	1 538	-54%	265%	12 755	1,06		2 736		1 291	Faktor 2	
Persontransporter tot			15 851	7 595			28 085							
	(kWh/tonkm)	(mdr tonkm)	(tonkm/person)											
Lastbil (kortväga)	0,90	7,6	835	752	-70%	20%	1 002	1,08			292			
Lastbil (långväga)	0,25	31,8	3 495	874	-35%	100%	6 989	1,1		1 249		325		
Lätta lastbilar		0,0	0	719	-70%	100%	0	1,07		461		120		
Spår	0,05	21,8	2 396	120	-30%	40%	3 354	1,08			127			
Färja	0,30	4,6	505	152	-35%	60%	809	1,06		167		45		
Lastfartyg	0,05	120,0	13 187	659	-35%	60%	21 099	1,06		727		196		
Flygfrakt	3,00	0,6	66	198	-54%	300%	264	1,06		386		193	Faktor 2	
Godstransporter tot				3 472										
Arbetsmaskiner				1 429	-40%	30%		1,07		1 192		310		
TRANSPORTER				12 496										
Stål- o metallverk, Process				1 099	-25%	90%				1 566		517		
Stål- o metallverk, Bränsle				846	-35%	90%		1	1 045					
Stål- o metallverk, El				934	-25%	90%		1,08			1 438			
Massa o papper, Bränsle				5 912	-55%	40%			3 725					
Massa o papper, El				2 582	-40%	40%		1,08			2 343			
Övrig industri, Bränsle				2 703	-70%	200%			1 630	803		276		
Övrig industri, El				2 626	-60%	200%		1,08			3 404			
INDUSTRI				16 703										
Småhus, värme				4 044	-37%	13%			576		760		Solvärme	Bergvärme
Flerbostad, värme				2 945	-46%	13%			1 459		270		270	539
Lokaler, värme				2 429	-46%	43%			1 849				281	
Elspecifikt				5 198	-55%	50%		1,08			3 789			
BOSTÄDER SERVICE				14 615										
TOTALT				43 814					10 284	10 667	13 127	3 632 (inkl CO2-lagring: 3132)		

				Scenario 1: Materiell konsumtion i högt tempo /Bio-låg										
2005				2050										
	Specifik energi	Aktivitet	Aktivitet per capita	Energi NETTO	Specifik energi förändring	Aktivitetsförändring	Volym	Uppräkning för förluster	Biobränsle	Fossilt bränsle	El	Växthusgaser		
	(kWh/personkm)	(Mdr personkm)	(personkm/person)	(kWh/person)		(per person)	(personkm/tonkm)		(kWh/person)	(kWh/person)	(kWh/person)	(kg CO2-ekv per person)		
<b>Kortväga resande (&lt;100km)</b>														
Bil, Totalt	0,65	64,4	7074	4 598		-20%	5 659							
Bil, fossilt			0		-70%		1 415	1,1		303		79		
Bil, biodrivmedel			0		-70%			1,67						
Bil, eldrift			0		-85%		4 245	1,08			447			
Buss	0,30	6,1	670	201	-60%	0%	670	1,1		88		23		
Spår	0,12	4,7	516	62	-50%	50%	773	1,08			50			
<b>Långväga resande (&gt;100km)</b>														
Bil, Totalt			0	900		0%	2 999							
Bil, fossilt	0,30	27,3	2999		-60%		2 999	1,10		396		103		
Bil, biodrivmedel			0		-60%			1,67						
Buss	0,13	3,2	352	46	-40%	50%	527	1,06		44		11		
Spår	0,10	4,2	460	46	-45%	100%	919	1,08			55			
Färja (ca 20 knop)	0,60	2,4	258	155	-35%	0%	258	1,06		107		29		
Snabbfärja (28-40 knop)	1,80	0,3	27	49	-50%	0%	27	1,06		26		7		
Flyg	0,44	31,8	3495	1 538	-54%	-40%	2 097	1,06		450		212	Faktor 2	
Persontransporter tot			15 851	7 595			13 932							
	(kWh/tonkm)	(Mdr tonkm)	(tonkm/person)											
Lastbil (kortväga)	0,90	7,6	835	752	-70%	10%		1,08			268			
Lastbil (långväga)	0,25	31,8	3 495	874	-30%	10%		1,1		740		192		
Lätta lastbilar				719	-70%	10%				176		46		
Spår	0,05	21,8	2 396	120	-30%	60%		1,08			145			
Färja	0,30	4,6	505	152	-35%	0%		1,06		104		28		
Lastfartyg	0,05	120,0	13 187	659	-35%	10%		1,06		500		135		
Flygfrakt	3,00	0,6	66	198	-54%	0%		1,06		96		48	Faktor 2	
Godstransporter tot				3 472										
Arbetsmaskiner				1 429	-40%	-30%		1,07		642		167		
TRANSPORTER				12 496										
Stål- o metallverk, Process				1 099	-25%	-5%				783		258		
Stål- o metallverk, Bränsle				846	-35%	-5%			523	0		0		
Stål- o metallverk, El				934	-25%	-5%		1,08			719			
Massa o papper, Bränsle				5 912	-55%	-10%			2 394					
Massa o papper, El				2 582	-40%	-10%		1,08			1 506			
Övrig industri, Bränsle				2 703	-70%	50%			1 216	0		90		
Övrig industri, El				2 626	-60%	50%		1,08			1 702			
INDUSTRI				16 703										
Småhus, värme				4 044	-37%	5%			535		763		Solvärme	Bergvärme
Flerbostad, värme				2 945	-46%	5%			1 550				334	1525
Lokaler, värme				2 429	-46%	-5%			578		178		249	355
Elspecifikt				5 198	-55%	40%		1,08			3 537			
BOSTÄDER SERVICE				14 615										
TOTALT				43 814					6 796	4 456	9 445	1 430 (inkl CO2-lagring: 930)		

2005				Scenario 2: Materiell konsumtion i högt tempo /Bio-hög										
	Specifik energi	Aktivitet	Aktivitet per capita	Energi NETTO	Specifik energi förändring	Aktivitetsförändring	Volym	Uppräkning för förluster	Biobränsle	Fossilt bränsle	El	Växthusgaser		
	(kWh/personkm)	(Mdr personkm)	(personkm/person)	(kWh/person)		(per person)	(personkm/tonkm)		(kWh/person)	(kWh/person)	(kWh/person)	(kg CO2-ekv per person)		
<b>Kortväga resande (&lt;100km)</b>														
Bil, Totalt	0,65	64,4	7074	4 598		-20%	5 659							
Bil, fossilt					-60%			1,1				0		
Bil, biodrivmedel					-60%		3 113	1,67	1 352					
Bil, eldrift					-85%		2 547	1,08			268			
Buss	0,30	6,1	670	201	-60%	0%	670	1,67	134					
Spår	0,12	4,7	516	62	-50%	50%	773	1,08						
<b>Långväga resande (&gt;100km)</b>														
Bil, Totalt				900		0%	2 999							
Bil, fossilt	0,30	27,3	2999		-50%		2 999	1,10		495		129		
Bil, biodrivmedel					-50%		0	1,67	0					
Buss	0,13	3,2	352	46	-40%	50%	527	1,67	69					
Spår	0,10	4,2	460	46	-45%	100%	919	1,08			55			
Färja (ca 20 knop)	0,60	2,4	258	155	-35%	0%	258	1,06		107		29		
Snabbfärja (28-40 knop)	1,80	0,3	27	49	-50%	0%	27	1,06		26		7		
Flyg	0,44	31,8	3495	1 538	-45%	-30%	2 446	1,06	0	651		296	Faktor 2	
Persontransporter tot				7 595			14 281							
	(kWh/tonkm)	(mdr tonkm)	(tonkm/person)											
Lastbil (kortväga)	0,90	7,6	835	752	-70%	10%		1,08			268			
Lastbil (långväga)	0,25	31,8	3 495	874	-30%	10%		1,1		740		192		
Lätta lastbilar		0,0	0	719	-45%	10%		1,1		478				
Spår	0,05	21,8	2 396	120	-30%	60%		1,08			145			
Färja	0,30	4,6	505	152	-35%	0%		1,06		104		28		
Lastfartyg	0,05	120,0	13 187	659	-35%	10%		1,1		519		140		
Flygfrakt	3,00	0,6	66	198	-45%	0%		1,06		115		58	Faktor 2	
Godstransporter tot				3 472										
Arbetsmaskiner				1 429	-30%	-30%		1,07		749		195		
TRANSPORTER				12 496										
Stål- o metallverk, Process				1 099	-20%	-5%				835		276		
Stål- o metallverk, Bränsle				846	-30%	-5%			563					
Stål- o metallverk, El				934	-20%	-5%		1,08			767			
Massa o papper, Bränsle				5 912	-50%	-10%			2 660					
Massa o papper, El				2 582	-35%	-10%		1,08			1 632			
Övrig industri, Bränsle				2 703	-65%	50%			1 419	0		90		
Övrig industri, El				2 626	-55%	50%		1,08			1 915			
INDUSTRI				16 703										
Småhus, värme				4 044	-32%	5%			866		720		Solvärme	Bergvärme
Flerbostad, värme				2 945	-41%	5%			1 905				182	1 441
Lokaler, värme				2 429	-41%	-5%			1 421				136	
Especifikt				5 198	-45%	40%		1,08			4 322			
BOSTÄDER SERVICE				14 615										
TOTALT				43 814					10 389	4 820	10 091	1 440 (inkl CO2-lagring: 940)		

				Scenario 3: Tjänstekonsumtion i högt tempo /Bio-låg										
2005				2050										
	Specifik energi	Aktivitet	Aktivitet per capita	Energi NETTO	Specifik energi förändring	Aktivitetsförändring	Volym	Uppräkning för förluster	Biobränsle	Fossilt bränsle	El	Växthusgaser		
	(kWh/personkm)	(Mdr personkm)	(personkm/person)	(kWh/person)		(per person)	(personkm/tonkm)		(kWh/person)	(kWh/person)	(kWh/person)	(kg CO2-ekv per person)		
<b>Kortväga resande (&lt;100km)</b>														
Bil, Totalt	0,65	64,4	7074	4 598		-40%	4 245							
Bil, fossilt					-70%			1,1		0		0		
Bil, biodrivmedel					-70%		849	1,67	276					
Bil, eldrift					-85%		3 396	1,08			358			
Buss	0,30	6,1	670	201	-60%	50%	1 005	1,67	202					
Spår	0,12	4,7	516	62	-50%	100%	1 031	1,08			67			
<b>Långväga resande (&gt;100km)</b>														
Bil, Totalt				900		-10%	2 700							
Bil, fossilt	0,30	27,3	2999		-60%		0	1,10		0		0		
Bil, biodrivmedel					-60%		2 700	1,67	541					
Buss	0,13	3,2	352	46	-40%	70%	598	1,67	78					
Spår	0,10	4,2	460	46	-45%	200%	1 379	1,08			82			
Färja (ca 20 knop)	0,60	2,4	258	155	-35%	0%	258	1,06		107		29		
Snabbfärja (28-40 knop)	1,80	0,3	27	49	-50%	0%	27	1,06		26		7		
Flyg	0,44	31,8	3495	1 538	-54%	90%	6 640	1,06	142	1 330		626	Faktor 2	
Persontransporter tot			15 851	7 595			17 882							
	(kWh/tonkm)	(mdr tonkm)	(tonkm/person)											
Lastbil (kortväga)	0,90	7,6	835	752	-70%	-20%		1,08			195			
Lastbil (långväga)	0,25	31,8	3 495	874	-30%	-20%		1,1		538		140		
Lätta lastbilar		0,0	0	719	-70%	-20%		1,08			186			
Spår	0,05	21,8	2 396	120	-30%	50%		1,08			136			
Färja	0,30	4,6	505	152	-35%	-20%		1,06		84		23		
Lastfartyg	0,05	120,0	13 187	659	-35%	-20%		1,06		363		98		
Flygfrakt	3,00	0,6	66	198	-54%	-30%		1,06		68		34	Faktor 2	
Godstransporter tot				3 472										
Arbetsmaskiner				1 429	-40%	-40%		1,07		550		143		
TRANSPORTER				12 496										
Stål- o metallverk, Process				1 099	-20%	-20%				703		232		
Stål- o metallverk, Bränsle				846	-30%	-20%			474					
Stål- o metallverk, El				934	-20%	-20%		1,08			646			
Massa o papper, Bränsle				5 912	-50%	-30%			2 069					
Massa o papper, El				2 582	-35%	-30%		1,08			1 269			
Övrig industri, Bränsle				2 703	-65%	30%			1 230	0		68		
Övrig industri, El				2 626	-55%	30%		1,08			1 659			
INDUSTRI				16 703										
Småhus, värme				4 044	-37%	-10%			459		654		Solvärme	Bergvärme
Flerbostad, värme				2 945	-46%	0%			1 476		0		318	1 308
Lokaler, värme				2 429	-46%	30%			297		395		341	790
Especifikt				5 198	-55%	35%		1,08			3 410			
BOSTÄDER SERVICE				14 615										
TOTALT				43 814					7 243	3 770	9 056	1 399 (inkl CO2-lagring: 900)		

				Scenario 4: Tjänstekonsumtion i högt tempo /Bio-hög										
2005				2050										
	Specifik energi	Aktivitet	Aktivitet per capita	Energi NETTO	Specifik energi förändring	Aktivitetsförändring	Volym	Uppräkning för förluster	Biobränsle	Fossilt bränsle	El	Växthusgaser		
	(kWh/personkm)	(Mdr personkm)	(personkm/person)	(kWh/person)		(per person)	(personkm/tonkm)		(kWh/person)	(kWh/person)	(kWh/person)	(kg CO2-ekv per person)		
<b>Kortväga resande (&lt;100km)</b>														
Bil, Totalt	0,65	64,4	7074	4 598		-40%	4 245							
Bil, fossilt					-60%			1,1				0		
Bil, biodrivmedel					-60%		1 698	1,67	737					
Bil, eldrift					-85%		2 547	1,08			268			
Buss	0,30	6,1	670	201	-60%	30%	871	1,67	175					
Spår	0,12	4,7	516	62	-50%	80%	928	1,08			60			
<b>Långväga resande (&gt;100km)</b>														
Bil, Totalt				900		-10%	2 700							
Bil, fossilt	0,30	27,3	2999		-50%		0	1,10		0		0		
Bil, biodrivmedel					-50%		2 700	1,67	676					
Buss	0,13	3,2	352	46	-40%	70%	598	1,67	78					
Spår	0,10	4,2	460	46	-45%	200%	1 379	1,08			82			
Färja (ca 20 knop)	0,60	2,4	258	155	-35%	0%	258	1,67	168			45		
Snabbfärja (28-40 knop)	1,80	0,3	27	49	-50%	0%	27	1,06		26		7		
Flyg	0,44	31,8	3495	1 538	-45%	90%	6 640		1 901	596		542	Faktor 2	
Persontransporter tot				7 595			17 645							
	(kWh/tonkm)	(mdr tonkm)	(tonkm/person)											
Lastbil (kortväga)	0,90	7,6	835	752	-70%	-20%		1,08			195			
Lastbil (långväga)	0,25	31,8	3 495	874	-30%	-20%		1,1		538		140		
Lätta lastbilar		0,0	0	719	-45%	-20%		1,08			341			
Spår	0,05	21,8	2 396	120	-30%	50%		1,08			136			
Färja	0,30	4,6	505	152	-35%	-20%		1,06		84		23		
Lastfartyg	0,05	120,0	13 187	659	-35%	-20%		1,1		377		102		
Flygfrakt	3,00	0,6	66	198	-45%	-30%		1,06		81		40	Faktor 2	
Godstransporter tot				3 472										
Arbetsmaskiner				1 429	-30%	-30%		1,07		749		195		
TRANSPORTER				12 496										
Stål- o metallverk, Process				1 099	-15%	-20%				747		247		
Stål- o metallverk, Bränsle				846	-20%	-20%			542					
Stål- o metallverk, El				934	-15%	-20%		1,08			686			
Massa o papper, Bränsle				5 912	-40%	-30%			2 483					
Massa o papper, El				2 582	-25%	-30%		1,08			1 464			
Övrig industri, Bränsle				2 703	-55%	30%			1 423	0	158	68		
Övrig industri, El				2 626	-45%	30%		1,08			2 028			
INDUSTRI				16 703										
Småhus, värme				4 044	-32%	-10%			495		706		Solvärme	Bergvärme
Flerbostad, värme				2 945	-41%	0%			1 713		0		261	1 411
Lokaler, värme				2 429	-41%	30%			1 837				279	
Especifikt				5 198	-45%	30%		1,08			4 014			
BOSTÄDER SERVICE				14 615										
TOTALT				43 814					12 228	3 198	10 138	1 409 (inkl CO2-lagring: 909)		

				Scenario 5: Utökad fritid och lägre konsumtion /Bio-låg										
2005				2050										
	Specifik energi	Aktivitet	Aktivitet per capita	Energi NETTO	Specifik energi förändring	Aktivitetsförändring	Volym	Uppräkning för förluster	Biobränsle	Fossilt bränsle	El	Växthusgaser		
	(kWh/personkm)	(Mdr personkm)	(personkm/person)	(kWh/person)		(per person)	(personkm/tonkm)		(kWh/person)	(kWh/person)	(kWh/person)	(kg CO2-ekv per person)		
<b>Kortväga resande (&lt;100km)</b>														
Bil, Totalt	0,65	64,4	7074	4 598		-40%	4 245							
Bil, fossilt					-60%			1,1		0		0		
Bil, biodrivmedel					-60%		1 698	1,67	737					
Bil, eldrift					-85%		2 547	1,08			268			
Buss	0,30	6,1	670	201	-60%	50%	1 005	1,67	202					
Spår	0,12	4,7	516	62	-50%	100%	1 031	1,08			67			
<b>Långväga resande (&gt;100km)</b>														
Bil, Totalt				900		-10%	2 700							
Bil, fossilt	0,30	27,3	2999		-50%		2 700	1,10		445		116		
Bil, biodrivmedel					-50%		0	1,67	0					
Buss	0,13	3,2	352	46	-40%	100%	703	1,06		58		15		
Spår	0,10	4,2	460	46	-45%	200%	1 379	1,08			82			
Färja (ca 20 knop)	0,60	2,4	258	155	-35%	0%	258	1,06		107		29		
Snabbfärja (28-40 knop)	1,80	0,3	27	49	-50%	0%	27	1,06		26		7		
Flyg	0,44	31,8	3495	1 538	-55%	90%	6 640	1,06	0	1 394		697	Faktor 2	
Persontransporter tot				7 595			17 988							
	(kWh/tonkm)	(mdr tonkm)	(tonkm/person)											
Lastbil (kortväga)	0,90	7,6	835	752	-70%	-30%		1,08			170			
Lastbil (långväga)	0,25	31,8	3 495	874	-30%	-30%		1,1		471				
Lätta lastbilar		0,0	0	719	-45%	-20%		1,08			341			
Spår	0,05	21,8	2 396	120	-30%	50%		1,08			136			
Färja	0,30	4,6	505	152	-35%	-30%		1,06		73		20		
Lastfartyg	0,05	120,0	13 187	659	-35%	-30%		1,06		318		86		
Flygfrakt	3,00	0,6	66	198	-55%	-30%		1,06		66		33	Faktor 2	
Godstransporter tot				3 472										
Arbetsmaskiner				1 429	-30%	-40%		1,07		642		167		
TRANSPORTER				12 496										
Stål- o metallverk, Process				1 099	-15%	-40%				560		185		
Stål- o metallverk, Bränsle				846	-20%	-40%			406					
Stål- o metallverk, El				934	-15%	-40%		1,08			514			
Massa o papper, Bränsle				5 912	-40%	-50%			1 774					
Massa o papper, El				2 582	-25%	-50%		1,08			1 046			
Övrig industri, Bränsle				2 703	-55%	10%			1 338	0		45		
Övrig industri, El				2 626	-45%	10%		1,08			1 716			
INDUSTRI				16 703										
Småhus, värme				4 044	-32%	-10%			742		617		Solvärme	Bergvärme
Flerbostad, värme				2 945	-41%	0%			1 612				348	1 235
Lokaler, värme				2 429	-41%	10%			91		421		315	843
Especifikt				5 198	-45%	25%		1,08			3 859			
BOSTÄDER SERVICE				14 615										
TOTALT				43 814					6 903	4 161	9 239	1 399 (inkl CO2-lagring: 900)		

# Tvågradersmålet i sikte?

RAPPORT 5754

NATURVÅRDSVERKET  
ISBN 978-91-620-5754-1  
ISSN 0282-7298

## Scenarier för det svenska energi- och transportsystemet till år 2050

I denna studie presenteras fem scenarier för Sveriges energi- och transportsystem fram till 2050. De innebär alla att utsläppen av växthusgaser minskar med 85 % mellan år 2005 och år 2050, vilket är i linje med EUs och Sveriges tvågradersmål. I de fem scenarierna varierar människors sätt att leva och tillgången till bioenergi och annan koldioxidneutral primärenergi. En gemensam nämnare är dock att det krävs betydande trendbrott i förhållande till dagens utveckling, gällande både tillförsel och användning av energi. Det krävs en ökad tillförsel av koldioxidneutral energi, en kraftfull teknikeffektivisering och att dagens snabba ökning av inte minst lastbilstransporter, flygresor och resurskrävande varukonsumtion bryts. Detta innebär betydande utmaningar för beslutsfattande i politik och planering.

Ett av syftena med studien är att ge vägledning för beslut som gäller långlivade samhällsstrukturer, exempelvis bebyggelse, vägar och järnvägar, så att inlåsningar i energiintensiva strukturer kan undvikas. Behov av fortsatt forskning diskuteras också i rapporten.

Rapporten är ett av flera bidrag i arbetet för effektivare energianvändning och transporter.