

Fossilfri bilflotta
Kurs ENM155

Andreas Hagesjö Daniel Pettersson Magnus Hagmar
Niclas Ogeryd Robert Nyquist

15 januari 2015

1 Introduktion

I denna rapport undersöks möjligheterna för att göra Sveriges bilflotta fossiloberoende till år 2030. Just nu kommer den största delen av energin som används i transportsektorn från just fossila bränslen. Detta betyder såklart att väldigt mycket utsläpp orsakas av alla bilar, utöver den stora energiförlusten på grund av den låga verkningsgraden för förbränningsmotorer. Genom att bryta beroendet utav fossila bränslen förbättras miljön alltså både genom minskade utsläpp och energiförbrukning.

Denna frågeställning är intressant att studera eftersom regeringen har satt just detta mål för Sverige. Utöver detta så är det både ett aktuellt ämne i samhället samt att det enligt flera utförda studier går att uppfylla målsättningen. Denna rapport innehåller en modell som visar vilka energier som kan användas för att nå detta mål samt olika scenarier för hur målet kan uppnås. För att det skall vara möjligt så krävs det vissa ansträngningar och tekniska utvecklingar.

Vad fossiloberoende betyder kan vara en tolkningsfråga, men i denna rapport används det med betydelsen att det är *möjligt* för bilflottan att köras på fossilfria bränslen, men att det inte måste vara så. Att ha tillgång till fossila bränslen och möjlighet att använda det kan vara viktigt för att upprätthålla bränslesäkerhet ifall det blir en temporär brist på några av alternativen.

1.1 El

För personbilar så kommer eldrift att ersätta stor del av bensin- och dieseldrift. Då elbilar är effektivare än bilar med förbränningsmotorer så kommer bytet till elbilar medföra att mängden energi som behöves för att driva bilflottan att minska [12, s. 25]. Då stor del utav elbilarna som säljs idag är laddhybrider, Mitsubishi Outlander står ensam för nästan 30 procent av det laddbara beståndet i Sverige, så kommer den typen av bilar fortfarande rulla 2030 och därmed fortfarande använda fossilt bränsle [13]. I nuläget så är det endast 7800 av de cirka 4.5 miljoner bilarna i Sverige som kan drivas på el [8].

Det kommer att diskuteras huruvida utvecklingen kan ske till 2030 för att se till att eldrivna bilar kommer att bli en mer betydande del av fordonsflottan gentemot hur det ser ut idag, och att efterfrågan för elbilarna kommer att öka drastiskt. Regeringen har i nuläget infört styrmedel för att gynna elbilar (och de absolut bästa gasbilarna), med en supermiljöbilspremie, som innebär att om en bils maximala koldioxidsläpp per kilometer är 50 gram, så kan denna premie tilldelas [2].

En fråga man kan ställa sig är huruvida det kommer gå att producera den extra mängden el som behöves för att utöka beståndet med elbilar. Som det ser ut nu så skulle bilflottan behöva runt 53 TWh/år år 2030 utan några åtgärder [12, s. 24], men med den effektiviseringen som kommer med elmotorer, mellan 2,5 och 3 gånger så effektiv [12, s. 29], så kommer den mängden energi att minska så pass mycket att det inte blir nödvändigt med så stor ökning utav elproduktionen.

1.2 Biobränsle

Tunga fordon så som lastbilar och maskiner kommer antagligen inte kunna köras med eldrivna motorer inom de nästkommande åren, detta på grund av att man idag inte kan lagra den mängden energi som behövs för att driva ett stort och tungt fordon. Och eftersom de flesta tunga fordon idag körs på diesel, kan ett bränslebyte till biodiesel gå relativt smärtfritt.

Samma sak är det med bensin och dieslbilar som säljs idag, eftersom medelåldern på en personbil i Sverige är 9 år [12, s. 17] så betyder det att det kommer köras bilar år 2030 som är sålda idag, och då måste vi ha ett sätt att med så låg kostnad som möjligt, konvertera dessa till fossilfria alternativ. Där ligger biobränslen närmast; en bil som idag körs på diesel kan, som tidigare sagt, relativt smärtfritt köras på biodiesel istället [1]. Lite svårare bil det däremot med en bensindriven bil. Där kan man bli tvungen att göra lite större ändringar i motorn vilket självklart resulterar i en högre kostnad för konverteringen. Denna konvertering är mycket möjligt att genomföra. Detta betyder att bilar som säljs idag och några år framåt, som är avsedda att köras fossila bränslen som bensin och diesel, kan konverteras och då framföras oberoende av fossila bränslen.

För att främja biobränslet i Sverige har man i nuläget infört ekonomiska styrmedel genom att låta allt biobränsle genom att låta dess skatt vara avdragsgill [2].

Man får dock vara försiktig med just biobränslen; det finns inte biobränslen i överflöd. Skulle andra länder få en ökad efterfrågan på biobränslen kan det få priset att rusa i taket. Detta kan medföra stora negativa effekter så som *land-grabbing* [6], ökade matpriser i fattigare länder etc. vilket man då kan reglera genom att man har kvar möjligheten att tillfälligt köra på fossila bränslen, för att minska Sveriges efterfrågan på biobränslen dels ur bränslesäkerhet men även miljömässigt och kanske även ur ett etiskt perspektiv.

1.3 Vätgas

Bilar som drivs på vätgas ligger för tillfället bakom både elbilar och bilar som drivs på biobränsle. Därför räknar vi med att år 2030 så består inte stora delar utav bilflottan av bilar som drivs av vätgas. Bilarna produceras fortfarande i små mängder och i Sverige finns endast en laddningsstation för tillfället [9]. Bilarna är dessutom fortfarande för dyra för att få ett stort genomslag än så länge. Bilar som drivs på vätgas har stor potential i framtiden men 2030 så kommer de inte finnas i lika stor mängd som elbilar och biobränslebilar.

1.4 Kärnkraft

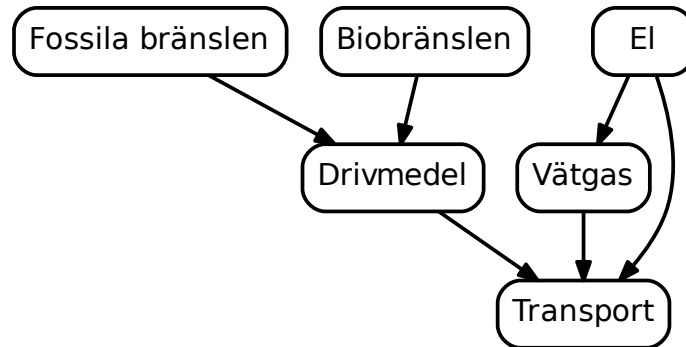
Regeringen har upphävt förbudet mot ny kärnkraft i Sverige. Detta har lett till intresse till ersätta gamla reaktorer med nya, bland annat i Oskarshamn, som kan producera mer el. Dessutom så kan man räkna med att samtliga aktiva reaktorer i Sverige kommer att producera en större mängd el om 15 år än vad de gör nu [3, s. 80]. Därför räknar vi med att kärnkraften år 2030 har möjlighet att täcka upp för det ökade behovet utav elproduktion som en ökad mängd elbilar medför.

2 Metod

Vi har utgått från den angivna modellen i tidigare uppgift. Med den som ursprungsläge samt information från flera rapporter och prognoser i ämnet har vi kunnat få fram en hypotes till hur energisystemet kan komma att se ut 2030. Vi har sedan matat vår algoritm med hypotesen. Den har sedan räknat ut resultatet och visar det i den form som vi behöver.

Den nuvarande modellen över transportsektorn ser förenklad ut som i figur 2. På pilarna mellan lådorna ska det såklart vara transmissionsförluster och verkningsgrader, men eftersom dessa varierar i de olika scenarierna har vi valt att inte skriva ut dessa.

Fördelen med vårt tillvägagångssätt är att vi kan vara säkra på att vårt resultat är korrekt beräknat då vi har matematiken att falla tillbaka på. Så resultatet från vår algoritm är korrekt. En nackdel är dock att vi inte kan vara säkra på att vår indata till algoritmen är korrekt då det är omöjligt för oss att säga hur verkligheten kommer att se ut 2030. Hypotesen vi har är så realistisk som vi kunde få den till med hjälp av den datan som vi kommit över. Vi har inte räknat med några stora oförutsedda scenarion, utan mer eller mindre räknat med att övriga områden ska fortsätta utvecklas som vanligt.



Figur 1: Förenklad modell av transportsektion.

3 Resultat

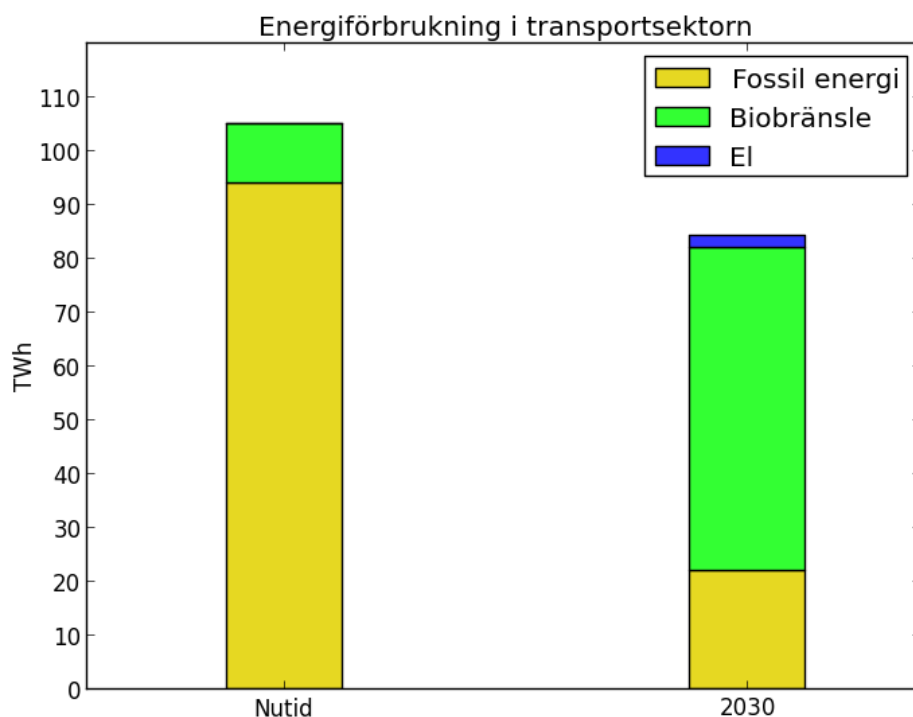
3.1 Scenario 1 - Biobränslen och elbilar

För att ersätta fossila bränslen så är som bekant de två huvudalternativen biobränslen eller elbilar. I detta scenario så utvecklas både användningen av biobränslen, samtidigt som en del av bilflottan byts ut mot el- eller hybridbilar.

Enligt Regeringens utredning 2013 så kan energianvändningen hos förbränningsmotorer för personbilar väntas minska med ca 28 procent till år 2030 [11]. Denna utveckling gör att verkningsgraden utav drivmedel ökar med åtta procentenheter från 20 till 28%. Totalt sett så kan energianvändningen för personbilar väntas minska med 43-50% om elbilar och laddhybrider vid eldrift står för drygt 40 procent av körsträckan [11]. Energianvändningen minskar dock inte såhär mycket eftersom verkningsgraden för att framställa drivmedel utav biomaterial är 45% lägre än för fossila bränslen.

Bilar som drivs helt eller delvis med el förväntas göra så att el står för någonstans mellan 3 och 14 procent av den totala energianvändningen hos vägtrafiken.

Energianvändningen för tunga fordon, sjöfart, bantrafik samt flyg förväntas minska något också, då man tror att de kommer ha en effektivisering på 10-14 procent. Just nu står vägtrafiken för 94% av hela sektorns förbrukade energi[5, s. 11], och om de olika trafikslagen upptar lika stor andel av transportsektorns förbrukning år 2030 som nu så kommer energianvändningen se ut som i tabell 3. Fördelningen av energislag visas även i figur 2.



Figur 2: Fördelning av energi i transportsektorn scenario 1 alternativ 1

	Nu	2030
Fossil energi	94 TWh	22,2 TWh
Biobränsle	11 TWh	60 TWh
El	(Nästan) 0 TWh	2,2 TWh
Total energianvändning	105 TWh	86 TWh
Energianvändning av personbilar	50 TWh	35 TWh

Figur 3: Energianvändning i transportsektorn

Som man kan se så kommer fossila energikällor stå för knappt en fjärdedel så mycket energi år 2030. Den kvarvarande fossila energin används av tunga fordon och andra transporter än vagtrafik. Bioenergi står för den överlägset största delen av energitillförseln, och några sätt att nå upp till denna nivå presenteras i sektion 4.1.

3.2 Scenario 2 - Vätgas

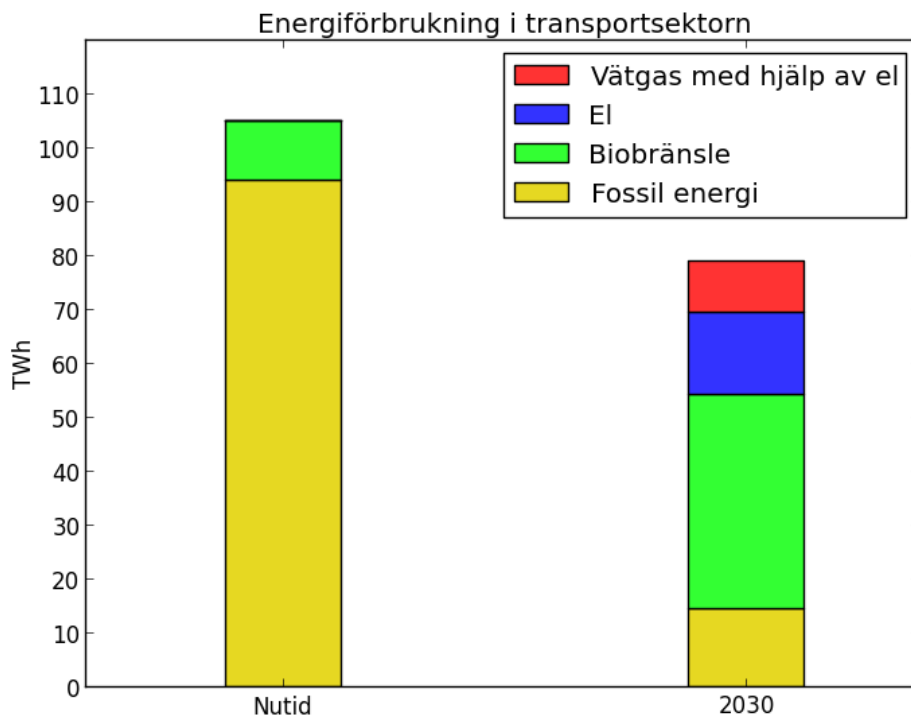
En form av elbilar som i framtiden kan tänkas få en större utbredning är bränslecellsbilar. I dessa används en bränslecell som drivs på vätgas för att generera el som sedan driver en elmotor. Det här scenariot behandlar

framförallt en kraftig ökning av mängden vätgasbilar.

Baserat på siffror från regeringens rapport “Fossilfrihet på väg” har man en verkningsgrad på ca 34% om framställningen av vätgas sker genom elektrolys med hjälp av el. I jämförelse hade man fått en verkningsgrad på ca 83% om man använt samma mängd el för att ladda en elbil. Samtidigt väntas verkningsgraden för förbämningsmotorer öka till 28% [11].

Enligt McKinsey har man en förväntad kostnadsminskning av vätgasbilar samt tillhörande bränsle med ca 90% fram till 2020 [10]. Dessutom har man hos vätgasbilar en räckvidd¹ som är lik den man finner hos bilar med förbränningsmotor. Detta bidrar till vätgasbilens position som ett miljövänligt alternativ där man inte behöver offra användbarhet. Därför har vi ett väldigt optimistiskt scenario där marknadsandelen av vätgasbilar beräknas vara 20%.

Den totala energianvändningen väntas minska kraftigt, då ca 55% av bilflottan beräknas kunna drivas helt eller delvis på el (vätgasbilar inräknat). Den beräknade energifördelningen kan ses i figur 4, beräknat med värden från tabell 5.



Figur 4: Fördelning av energi i transportsektorn scenario 2

¹Ca 500 km enligt regeringens rapport[11].

	Nu	2030
Fossil energi	94 TWh	14.7 TWh
Biobränsle	11 TWh	39.7 TWh
El	(Nästan) 0 TWh	15.3 TWh
— varav Vätgas	(Nästan) 0 TWh	9.4 TWh
Total energianvändning	105 TWh	79.9 TWh
Energianvändning av personbilar	50 TWh	32.5 TWh

Figur 5: Energianvändning i transportsektorn, scenario 2.

4 Diskussion

4.1 Scenario 1

Scenario 1 är möjligt att genomföra på flera olika sätt och här kommer det diskuteras två olika lösningar. Det finns vissa gemensamma problem och åtagande för båda lösningarna.

Ökad användning utav biobränsle är ett måste. Detta behöver man vara väldigt försiktig med i början, då ökad produktion måste göras i kontrollerade mängder så det inte leder till höjda markpriser vilket kan bidra till ökad pris på mat och land-grabbing. Enligt regeringens rapport så kommer Sverige att kunna producera 50-60 TWh mer biomassa per år, vilket motsvarar 25-30 TWh mer biodrivmedel jämfört med dagens mängd.

Mängden el som kommer användas samt behöva produceras ändras med dessa genomföranden och detta är möjligt att göra på olika sätt, vilket diskuteras i de olika alternativen.

Det är inte bara mängden energi och fördelningen som måste lösas utan man måste även övertyga Sveriges bilförare om att bilar som drivs av biodrivmedel och el är en bra och effektiv lösning. Det får inte finnas en ekonomisk förlust för personer som väljer dessa typer av bilar ifall man vill öka antalet användare utav denna typ av bil. Detta problem kan staten hjälpa till med genom att exempelvis fortsätta med skatteavdraget och avdrag på trängselskatt.

Det behöves även styrmedel för att underlätta användningen utav miljöbilar. Bensinstationer behöver erbjuda möjligheten att tanka med biobränsle och att ladda sin elbil. Regler för laddningsstationer när nya parkeringsplatser byggs skulle göra användningen utav elmotorer smidigare och problemet med räckvidden skulle minska.

För att el- och hybridbilar ska kunna bli populära och användas av många så måste forskning och utveckling fortsätta ske inom den sortens fordonsteknik.

Sverige satsar varje år 450 miljoner kronor på forskning inom just detta ämne[7, s. 44]. Om man önskar att folk ska byta bil till någon av dessa typer så behöver mycket utveckling göras snabbt, vilket skulle kunna vara anledning till att öka den mängden pengar för att snabba på processen. Dock så drivs denna fråga i andra länder, vilket betyder att vi inte är helt beroende av att alla tekniska framsteg måste ske i Sverige.

En viktig del kan bli att göra kollektivtrafiken mer konkurrenskraftig; att planering utav infrastrukturer gynnar användning utav kollektivtrafik istället för bilar. Bilarna används då i mindre utsträckning och därmed minskar energin som behövs för att driva bilflottan och hela transportflottan totalt.

4.1.1 Alternativ 1

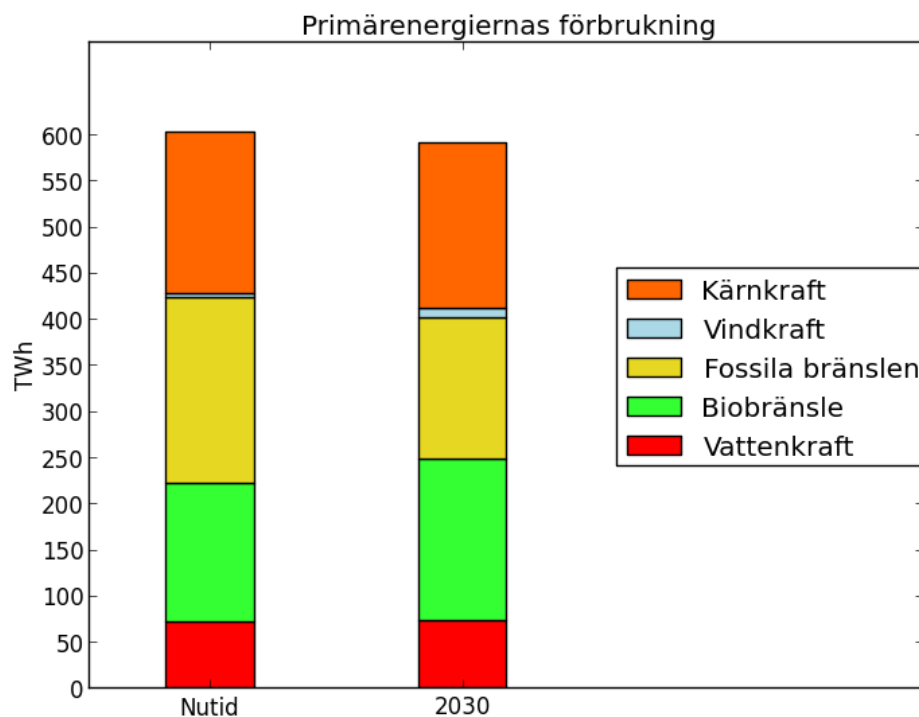
Här görs ett utbyte mellan biobränsle som används till uppvärmning, och fossilt bränsle som används till drivmedel för personbilar. Det kan verka oeffektivt att endast "flytta problemet", men genom att byta användningsområde för energisorterna så kan man effektivisera utnyttjandet av dessa. En nackdel med att använda biomassa för att framställa biodrivmedel är att det förekommer större energiförluster i form av värme jämfört med fossila bränslen. Verkningsgraderna för bioenergi och fossil energi till drivmedel är 50% respektive 90%. Detta innebär att det kommer krävas nästan dubbelt så mycket bioenergi för att framställa lika mycket drivmedel som med fossila energikällor. Dessa förluster kan täckas med el. Ökningen utav elbilar gör att biobränslet inte behöver ge samma mängd energi som fossila bränslen gav. Fossila bränslen och biobränslen har samma verkningsgrad när de används till uppvärmning så det blir inte några extra energiförluster som behöver täckas upp dit man flyttat fossila energin.

Att det fossila bränslet flyttas från ett område till ett annat kan i detta fall hjälpa till med att minska den fossila användningen totalt. Att plocka bort den fossila användningen i trafik är en viktigt och komplex del i att minska vårt beroende av fossila bränslen. Så att till en början använda mer fossila bränslen är inget stort problem då det med tiden kommer att fasas ut genom att exempelvis använda förnyelsebar el som uppvärmning. Detta kommer fördröja avvecklingen, men hjälpa till med att skapa en fossilfri bilflotta.

För att detta ska fungera så måste användningen utav bioenergi öka med ca 25 TWh till år 2030. Som nämnts ovan så har Sverige möjlighet att öka sin produktion av biomassa med upp till 60 TWh, så det går att täcka det ökade energibehovet med produktion inom Sverige. Alternativt skulle detta kunna lösas genom att importera biodrivmedel från andra länder för användning. Detta är fullt möjligt, men det är svårt att avgöra hur det kommer fungera

i framtiden. Det finns stor risk att den globala efterfrågan på biodrivmedel för import kommer öka, vilket medför att konkurrensen och priset stiger betydligt [11].

Vi har räknat med en liten ökad produktion av energi från kärnkraft. Detta är på grund av planerade effekthöjningar av de kärnreaktorer som är i drift [4]. Utöver detta så har vi räknat med att vindkraften kommer utvecklas och producera 10 TWh energi istället för drygt 4 TWh, enligt regeringens önskan om att utöka vindkraften. Den totala energianvändningen, samt dess fördelning mellan olika sektorer visas i bild 6.



Figur 6: Primärenergiernas energiförbrukning för scenario 1 alternativ 1

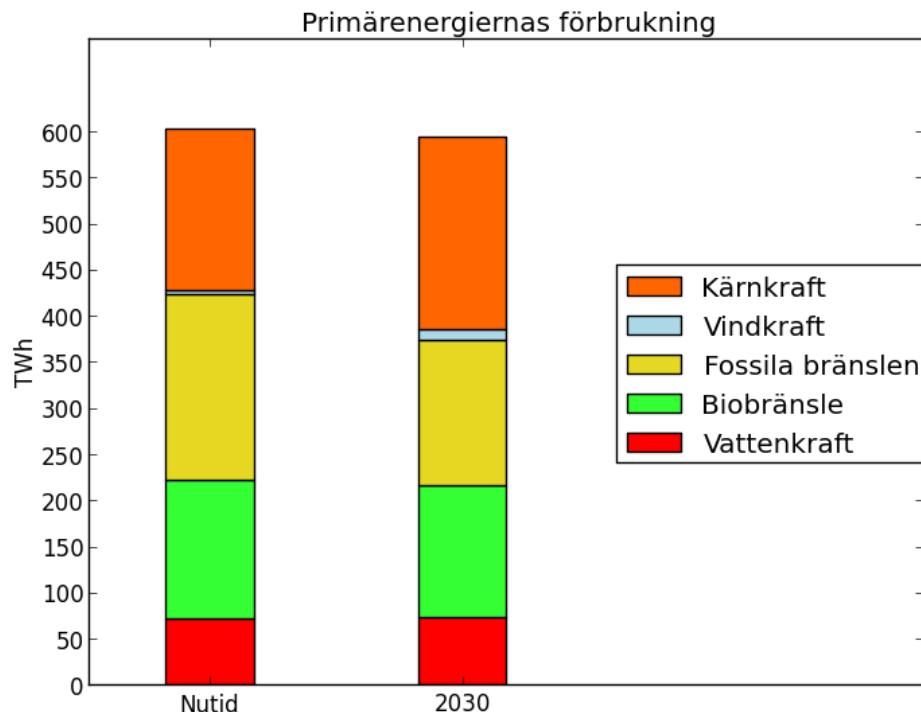
Denna lösning stämmer ganska bra överens med den utveckling som regeringen förutspår i sin utredning. I de värden vi redovisat så har bilflottan varit nästintill helt fossilfri, alltså en bit över gränsen till fossiloberoende. Dock så finns stor möjlighet att falla tillbaka på fossila bränslen i de fall då det behövs. Detta kan vara till exempel då en oförutsägbar händelse radikalt förändrar landets energiförsörjning, såsom en ovanligt torr sommar som orsakar försämrade skörd av biomassa. Vi föreslår även att mer pengar satsas på forskning om el- och hybridfordonteknik, samt att styrmedel utnyttjas flitigt för att uppmuntra det Svenska folket att byta bil.

4.1.2 Alternativ 2

Idag används mycket biobränsle till uppvärmning och elproduktion. Om man istället börjar använda denna mängd till att tillverka drivmedel så kan det ersätta stora delar utav det fossila bränslet. Det kommer då behövas energier från andra källor för att ersätta biobränslet i andra sektorer. Detta skulle kunna ersättas med el. För att detta skall vara möjligt behöver Sveriges elproduktion öka till 2030. Sveriges riksdag har en planeringsram till år 2020 om att tredubbla elproduktionen från vindkraft, en siffra som förmodligen kommer att vara ännu högre år 2030. Dessutom så räknas Sveriges reaktorer producera mer el 2030 än vad de gör idag om inga reaktorer stängs ner[4].

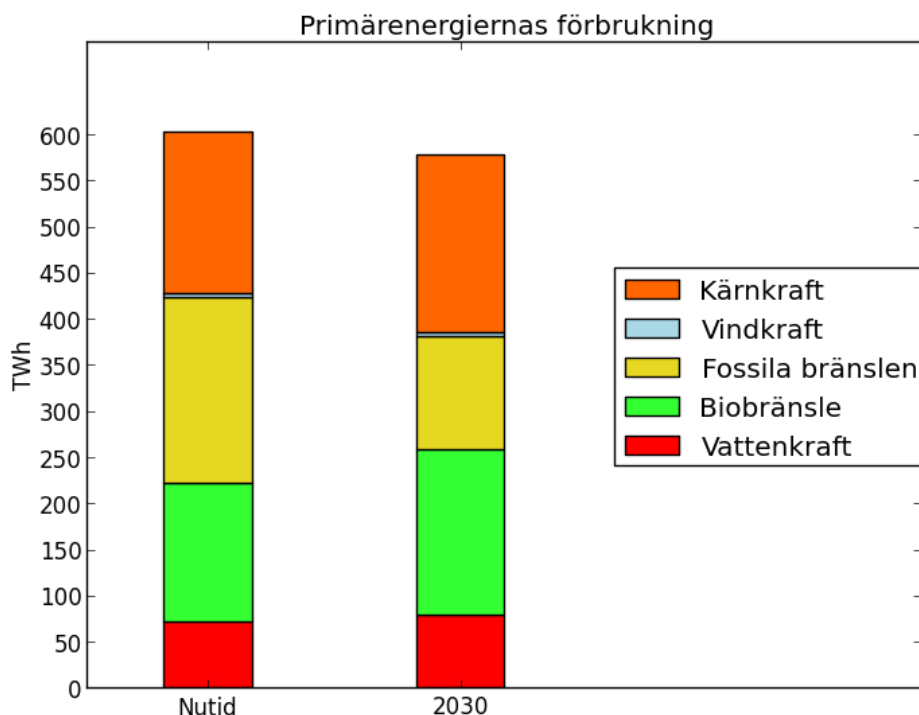
Att producera el utav kärnkraft orsakar mindre energiförlust än att använda biomaterial. Dessutom orsakar värme som framställs genom användande av el endast marginellt större energiförluster än via biobränsle. Alltså kan man byta den biomaterialanvändning mot el framställd av ökad vindkraft och kärnkraft. Den frigjorda bioenergin används till biodrivmedel, vilket gör att man kan minska sitt fossilberoende kraftigt.

Den totala energianvändningen av olika energisorter visas i bild 7 nedan. Som synes så används betydligt mer kärnkraft än i 6, och mindre bioenergi eftersom den inte används till värme eller el.



Figur 7: Primärenergiernas energiförbrukning för scenario 1 alternativ 2

4.2 Scenario 2



Figur 8: Primärenergierna energiförbrukning för scenario 2

I litteraturen så finns det inget om att vätgasbilar skulle ha någon större inverkan på bilflottan år 2030, dessutom så har finns det flera större rapporter där alla pekar på att antalet vätgasbilar kommer vara marginell. Då utvecklingen utav vätgasbilar fortfarande är i ett stadie där det experimenteras mycket och modellerna endast finns i små mängder så har de ett väldigt högt inköpspris. För att vätgasbilar skall finnas i en större utbredning år 2030 så måste bilföretag välja att börja producera i större skalor så att priserna går ner.

Statliga medel som tvingar fram tankstationer är också ett måste då det för tillfället endast finns en tankstation i Malmö och två planerade, en vadera i Stockholm och Göteborg.

Ekonomiska medel från staten skulle göra att försäljningen kan öka tidigare då försäljningspriset kan vara högra utan att direkt påverka privatpersoners ekonomi. Tyskland, Japan och Kalifornien är de platser där uppbyggnaden utav vätgasstationer har kommit längst. Där har myndigheter samarbetat med företag för att dela på kostnader och risker som det innebär. Sådana samarbeten skulle även behövas i Sverige om man snabba på uppbyggnaden.

den av infrastruktur som stödjer vätgasbilar. Detta är åtgärder som skulle behövas ta i kraft väldigt snart då Sverige för tillfället inte har en nationell vätgas strategi.

Något som talar för att utvecklingen för vätgasbilar skall gå framåt i snabbt takt är att det forskas på att använda vätgas som lagring för energi från exempelvis vindkraftverk. Detta skulle göra vindkraft mindre beroende av andra energikällor när det inte blåser. Utvecklingen av att binda energi i vätgas har alltså fördelar i andra områden än transport vilket gör att forskning inom området är lönsamt för flera. Det finns även industrier som har vätgas som spillvara som man kan ta vara på för att få vätgas direkt utan några energiförluster vid tillverkningen.

Hela detta scenariot är långt ifrån verkligheten. Bilar som drivs på vätgas med hjälp av bränsleceller ligger långt bakom bilar som drivs av el och biobränsle när det kommer till kommersiellt genomslag. Det krävs extrema åtgärder för att det skall finnas en liten möjlighet till att det skall kunna genomföras och de åtgärderna måste ske snabbt. Dessutom skulle det innebära att all satsning på en ökad mängd elbilar och bilar som drivs på biobränsle behöver komma i andra hand. Detta är inte troligt då dessa förmodligen kommer få bort fossila bränslen från bilflottan och det finns ingen anledning till att minska den möjligheten. Bilar som drivs på vätgas har definitivt stor potential och kan komma att vara ett väldigt bra alternativ till fordon i framtiden, men det är fortfarande för tidigt. Till år 2030 lär vätgasbilar inte ha någon stor inverkan.

4.3 Slutsats

Det är möjligt att göra Sveriges bilflotta fossilfri, men det kommer att behövas åtgärder; både ekonomiska och strukturella. Vissa åtgärder är redan tagna och andra är på gång. Att bilflottan blir fossilfri bidrar inte bara till klimatmålen utan bidrar även till attraktivare städer, långsiktigt lägre kostnader, attraktivare städer och förbättrad hälsa. Denna kombination gör det högst troligt att nuvarande regering och kommande regeringar kommer driva igenom de styrmedel som krävs. Lösningen lär ligga i elbilar och bilar som drivs på biobränsle, det är de fordon som kommit längst i utvecklingen och de Sveriges infrastruktur har stöd för och en plan för när det kommer till miljövänliga fordon. Det är oklart hur man kommer gå till väga, både med styrmedel och ändrad energifördelning. Det finns flera möjliga lösningar, fler än de vi gått igenom, och det är svårt att veta hur det kommer se ut i framtiden. En sak som är säkert kommande åren är kritiska för att lyckas nå målen och det är en stor utmaning.

Referenser

- [1] *Biodiesel B100*. URL: http://www.statoil.se/sv_SE/pg1334072467687/privat/Drivmedel/%C3%83%C2%B6vrigadrivmedel/Biodiesel-B100.html (hämtad 2015-01-06).
- [2] *Ekonomiska styrmedel*. 13 maj 2014. URL: <http://www.biogasportalen.se/BliProducentAvBiogas/Ekonomi/Stodochstyrmedel> (hämtad 2015-01-06).
- [3] Miljö- och energidepartementet. *Kärnkraft – nya reaktorer och ökat skadeståndsansvar*. Statens offentliga utredningar 2009:88. Staten, 2 nov. 2009. URL: <http://www.regeringen.se/sb/d/11597/a/134558>.
- [4] Energimyndigheten. *Scenarier över Sveriges energisystem. 2014 års långsiktiga scenarier, ett underlag till klimatrappporteringen*. Rapport ER 2014:19. Staten, 2014. URL: <http://www.regeringen.se/sb/d/18300/a/238512>.
- [5] Energimyndigheten. *Transportsektorns energianvändning 2013*. Rapport ES 2014:01. Staten, 2014. URL: <http://www.energimyndigheten.se/Global/Statistik/Transportsektorns%20energianv%C3%83%C2%A4ndning%202013.pdf>.
- [6] Oskar Englund. "Bioenergi". Chalmers University of Technology, 2014.
- [7] Erik Filipsson och Ellenor Grundfelt. *Styrmedel för introduktion av eldrivna fordon och utbyggnad av laddinfrastruktur*. Rapport 09:48. Elforsk, 2009. URL: http://www.elforsk.se/Rapporter/?rid=09_48_.
- [8] *Fordonsstatistik 2014*. Transportstyrelsen. 9 juli 2014. URL: <https://www.transportstyrelsen.se/sv/Press/Statistik/Vag/Fordonsstatistik/Fordonsstatistik-juni-2014/> (hämtad 2015-01-06).
- [9] *Första macken för vätgas*. 10 juni 2014. URL: <http://www.skanskan.se/article/20140610/MALMO/140609539/-/forsta-macken-for-vatgas> (hämtad 2015-01-06).
- [10] McKinsey. *A portfolio of power-trains for Europe: a fact-based analysis*. Rapport. Europeiska Kommissionen, 2012. URL: http://ec.europa.eu/research/fch/pdf/a_portfolio_of_power_trains_for_europe_a_fact_based_analysis.pdf.
- [11] Näringsdepartementet. *Fossilfrihet på väg*. Rapport 2013:84. Staten, 16 dec. 2013. URL: <http://www.regeringen.se/sb/d/17075/a/230739>.
- [12] Håkan Sköldberg m.fl. *Ett fossilbränsleoberoende transportsystem år 2030. Ett visionsprojekt för Svensk Energi och Elforsk*. Rapport 10:55. Elforsk, 2010. URL: http://www.elforsk.se/Rapporter/?rid=10_55_.

- [13] *Ökningen av laddbara fordon avtar*. 3 dec. 2014. URL: <http://powercircle.org/nyhet/okningen-av-laddbara-fordon-avtar-3> (hämtad 2015-01-06).

5 Programkod

I denna fil finns klasserna för sektorer samt energier.

```
class Sector:
    def __init__(self, id, name):
        self.name = name
        self.id = id
        self.energy = 0
        self.energies = {}

    def add_energy(self, id, energy):
        self.energies[id] = energy

    def value(self):
        return self.energy

class Energy:
    def __init__(self, id, name, energy=0):
        self.name = name
        self.id = id
        self.energy = energy
        self.sectors = {}
        self.inputs = {}
        self.subenergies = {}

    def add_input(self, id, energy, efficiency, quota):
        self.inputs[id] = (energy, efficiency, quota)

    def add_subenergy(self, id, subenergy, efficiency,
        quota):
        self.subenergies[id] = (subenergy, efficiency,
            quota)

    def add_sector(self, id, sector, efficiency, amount)
        :
        self.sectors[id] = (sector, efficiency, amount)

    def value(self, id=None):
        if id:
            (sum_used, sum_created) = self.sum_value_energy(
                self, id)
            return (sum_used, sum_created)
        else:
```



```

        (sum_used, sum_created) = self.sum_value_energy(
            self, 'all')
    return (sum_used, sum_created)

def sum_value_energy(self, energy, id):
    sum_used = 0
    sum_created = 0
    for subenergy_id in energy.subenergies:
        link = energy.subenergies[subenergy_id]
        if subenergy_id == id:
            created_temp = link[0].energy * link[2]
            sum_created += created_temp
            sum_used += created_temp / link[1]

    else:
        (used_temp, created_temp) = self.
            sum_value_energy(link[0], id)
        created_temp = created_temp * link[2]
        used_temp = used_temp * link[2] / link[1]
        sum_created += created_temp
        sum_used += used_temp

    (sum_used, sum_created) = self.sum_value_sector(
        energy, id, sum_used, sum_created)

    return (sum_used, sum_created)

def sum_value_sector(self, energy, id, sum_used,
    sum_created):
    for sector_id in energy.sectors:
        link = energy.sectors[sector_id]
        if sector_id == id or id == 'all':
            created_temp = link[2]
            sum_created += created_temp
            sum_used += created_temp / link[1]
    return (sum_used, sum_created)

```

Här är själva programmet.

```
#!/usr/bin/env python3
from Energy import Sector, Energy
from sys import argv, exit
from copy import copy
import json
import argparse

def main():
    parser = argparse.ArgumentParser(description="Modellering av Sveriges energiförbrukning")
    parser.add_argument("-t", "--total", action="store_true", dest="total", help="Visa totala energiförbrukningen för Sverige")
    parser.add_argument("-s", "--sectors", action="store_true", dest="sectors", help="Visa alla sektorer")
    parser.add_argument("-p", "--primary-energies", action="store_true", dest="primary", help="Visa alla primära energier")
    parser.add_argument("-e", "--energies", action="store_true", dest="energies", help="Visa alla energier")
    parser.add_argument("-v", "--value", metavar="from_id to_id", dest="values", type=str, nargs='*', help="Visa hur mycket energi utav energitypen 'from_id' som används till energitypen eller sektorn 'to_id'. Visar även hur mycket energi man får ut i sekundärenergien eller sektorn efter alla energiomvandlingar och förluster. Än så länge inte 'to_id' så tolkas detta som alla sektorer")
    parser.add_argument("-f", "--file", dest="file", default="system-data.json", help="Visa alla sektorer")
    args = parser.parse_args()

    try:
        with open(args.file, "r") as fp:
            obj = json.load(fp)
    except:
        print "File does not exist or does not contain valid json data."
```

```

    exit()

(primaryenergies, energies, sectors) = build_model(
    obj)
id_to_name = {}
for e in energies:
    id_to_name[energies[e].id] = energies[e].name
for s in sectors:
    id_to_name[sectors[s].id] = sectors[s].name

calculate_energies(energies, sectors)

if args.total:
    total = 0
    print(u"Sveriges energiförbrukning: ")
    for e in primaryenergies.values():
        total += e.energy
        print(u'{:20}{:10.4f} TWh'.format(e.name, e.
            energy))
    print(u"\n{:20}{:10.4f} TWh".format("Total energi"
        , total))
elif args.sectors:
    for s in sectors.values():
        print u"{:16}_id:_{:15}".format(s.name, s.id)

elif args.primary:
    print(''\n'.join([p.name for p in primaryenergies.
        values()])))
elif args.energies:
    for e in energies.values():
        print u"{:16}_id:_{:15}".format(e.name, e.id)
elif args.values:
    # Check for invalid energies or sectors
    for value in args.values:
        if not (value in energies or value in sectors):
            print u""{s}""_är inte en giltig energityp_
                eller sektor.".format(value)
            exit()
    length = (len(args.values))
    output = ""
    if length == 1:
        source_energy = 0
        for p in primaryenergies.values():
            source_energy += p.value(args.values[0])[0]

```

```

if args.values[0] in energies:
# Checking value for an energy
    (used, created) = energies[args.values[0]].
        value()

    if source_energy != 0:
        output += u"{:0.4f} TWh från alla primä
            renergier används för att framställa {s}
            }\n".format(source_energy, id_to_name[
                args.values[0]])
        output += u"{:0.4f} TWh av energin från {s} g
            år till alla sektorer.\n".format(used,
                energies[args.values[0]].name)
        output += u"Med detta så får man ut {:0.3f}
            TWh till alla sektorer.".format(created)
    else:
# Checking value for a sector
        used = source_energy
        created = sectors[args.values[0]].value()
        output += u"{:0.4f} TWh från alla primä
            renergier används för att framställa energi
            till {s} sektorn\n".format(source_energy,
                id_to_name[args.values[0]])
        output += u"Detta förser sektorn med {:0.4f}
            TWh energi.".format(created)
elif length == 2:
        (used, created) = energies[args.values[0]].value
            (args.values[1])
        output += u"{:0.4f} TWh av energin från {s} g
            år till {s}.\n".format(used, energies[args.
                values[0]].name, id_to_name[args.values[1]])
        output += u"Med detta så får man ut {:0.3f} TWh
            till {s}.".format(created, id_to_name[args.
                values[1]])
if used == 0:
        print ("Parametrarna gav inget resultat")
        exit()
    print output
else:
    parser.print_help()
return primaryenergies, energies, sectors

def build_model(obj):
    sectors = {}

```

```

energies = {}
primaryenergies = {}

for energy_id in obj["primary_energies"]:
    energy_obj = obj["primary_energies"][energy_id]
    energy = Energy(energy_id, energy_obj["name"])
    primaryenergies[energy_id] = energy
    energies[energy_id] = energy

    add_inputs(obj, energy_id, energy_obj, energies)

for energy_id in obj["energies"]:
    energy_obj = obj["energies"][energy_id]
    if not energy_id in energies:
        energies[energy_id] = Energy(energy_id, obj["
            energies"][energy_id]["name"])
    add_inputs(obj, energy_id, energy_obj, energies)
    add_sectors(obj, energy_id, energy_obj, sectors,
        energies)

return (primaryenergies, energies, sectors)

def add_inputs(obj, id, energy_obj, energies):
    if "energies" in energy_obj:
        for energy_id in energy_obj["energies"]:
            if not energy_id in energies:
                energies[energy_id] = Energy(energy_id, obj["
                    energies"][energy_id]["name"])
            efficiency = energy_obj["energies"][energy_id]["
                efficiency"]
            quota = energy_obj["energies"][energy_id]["quota
                "]
            energies[energy_id].add_input(id, energies[id],
                efficiency, quota)
            energies[id].add_subenergy(energy_id, energies[
                energy_id], efficiency, quota)

def add_sectors(obj, id, energy_obj, sectors, energies
):
    if "sectors" in energy_obj:
        for sector_id in energy_obj["sectors"]:
            if not sector_id in sectors:

```

```

        sectors[sector_id] = Sector(sector_id, obj["sectors"][sector_id]["name"])
        efficiency = energy_obj["sectors"][sector_id]["efficiency"]
        amount = energy_obj["sectors"][sector_id]["amount"]
        sectors[sector_id].add_energy(id, energies[id])
        sectors[sector_id].energy += amount
        energies[id].add_sector(sector_id, sectors[sector_id], efficiency, amount)

def calculate_energies(energies, sectors):
    for sector_id in sectors:
        sector = sectors[sector_id]
        for energy_id in sector.energies:
            energy = energies[energy_id]
            energy_sector_link = energy.sectors[sector_id]
            amount = energy_sector_link[2] / energy_sector_link[1]
            increase_energy(energy, amount, energies)

def increase_energy(energy, amount, energies):
    energy.energy += amount
    for input_id in energy.inputs:
        input = energies[input_id]
        link = energy.inputs[input.id]
        efficiency = link[1]
        amount_temp = amount * link[2] / efficiency
        increase_energy(input, amount_temp, energies)

if __name__ == "__main__":
    main()

```

Här är inputdatan från tabellerna vi fick.

```
{
  "name": "Sveriges primärenergitillförsel",
  "primary_energies": {
    "fossil": {
      "name": "Fossila bränslen",
      "energies": {
        "fuel": {
          "efficiency": 0.90,
          "quota": 0.94
        },
        "heating_residences": {
          "efficiency": 0.80,
          "quota": 0.15
        },
        "heating_industry": {
          "efficiency": 0.90,
          "quota": 0.56
        },
        "district_heating": {
          "efficiency": 0.75,
          "quota": 0.102
        },
        "electric": {
          "efficiency": 0.35,
          "quota": 0.018
        }
      }
    },
    "bio": {
      "name": "Biobränslen",
      "energies": {
        "fuel": {
          "efficiency": 0.50,
          "quota": 0.06
        },
        "heating_residences": {
          "efficiency": 0.80,
          "quota": 0.13
        },
        "heating_industry": {
          "efficiency": 0.90,
          "quota": 0.40
        }
      }
    }
  }
}
```

```

    },
    "district_heating": {
      "efficiency": 0.75,
      "quota": 0.658
    },
    "electric": {
      "efficiency": 0.30,
      "quota": 0.04
    }
  },
  "nuclear": {
    "name": "Kärnkraft",
    "energies": {
      "electric": {
        "efficiency": 0.34,
        "quota": 0.419
      }
    }
  },
  "water": {
    "name": "Vattenkraft",
    "energies": {
      "electric": {
        "efficiency": 1.00,
        "quota": 0.494
      }
    }
  },
  "wind": {
    "name": "Vindkraft",
    "energies": {
      "electric": {
        "efficiency": 1.00,
        "quota": 0.029
      }
    }
  },
  "energies": {
    "fuel": {
      "name": "Drivmedel",
      "sectors": {
        "transport": {

```



```

        "efficiency": 0.20,
        "amount": 18
    }
},
"electric": {
    "name": "El",
    "energies": {
        "heat_pump": {
            "efficiency": 0.90,
            "quota": 1.00
        },
        "heating_residences": {
            "efficiency": 0.90,
            "quota": 0.23
        }
    },
    "sectors": {
        "residences": {
            "efficiency": 0.90,
            "amount": 55
        },
        "industry": {
            "efficiency": 0.90,
            "amount": 53
        }
    }
},
"heat_pump": {
    "name": "Värmepump",
    "energies": {
        "district_heating": {
            "efficiency": 2.5,
            "quota": 0.24
        }
    }
},
"district_heating": {
    "name": "Fjärrvärme",
    "energies": {
        "heating_residences": {
            "efficiency": 0.81,
            "quota": 0.49
        },
    },

```

```

        "heating_industry": {
            "efficiency": 0.81,
            "quota": 0.04
        }
    },
    "heating_residences": {
        "name": "Värme, bostäder",
        "sectors": {
            "residences": {
                "efficiency": 1.00,
                "amount": 90
            }
        }
    },
    "heating_industry": {
        "name": "Värme, industri",
        "sectors": {
            "industry": {
                "efficiency": 1.00,
                "amount": 121
            }
        }
    },
    "sectors": {
        "residences": {
            "name": "Bostäder"
        },
        "transport": {
            "name": "Transport"
        },
        "industry": {
            "name": "Industri"
        }
    }
}

```

Här är inputdatan från scenario 1 alternativ 1:

```

{
    "name": "Sveriges primärenergitillförsel",
    "primary_energies": {
        "fossil": {

```

```

"name": "Fossila bränslen",
"energies": {
  "heating_residences": {
    "efficiency": 0.80,
    "quota": 0.15
  },
  "heating_industry": {
    "efficiency": 0.90,
    "quota": 0.60
  },
  "district_heating": {
    "efficiency": 0.75,
    "quota": 0.102
  },
  "electric": {
    "efficiency": 0.35,
    "quota": 0.0575
  },
  "fuel": {
    "efficiency": 0.9,
    "quota": 0.40
  }
},
"bio": {
  "name": "Biobränslen",
  "energies": {
    "fuel": {
      "efficiency": 0.50,
      "quota": 0.60
    },
    "heating_residences": {
      "efficiency": 0.80,
      "quota": 0.13
    },
    "heating_industry": {
      "efficiency": 0.90,
      "quota": 0.36
    },
    "district_heating": {
      "efficiency": 0.75,
      "quota": 0.658
    },
    "electric": {

```

```

        "efficiency": 0.30,
        "quota": 0.00
    }
}
},
"nuclear": {
    "name": "Kärnkraft",
    "energies": {
        "electric": {
            "efficiency": 0.34,
            "quota": 0.40
        }
    }
},
"water": {
    "name": "Vattenkraft",
    "energies": {
        "electric": {
            "efficiency": 1.00,
            "quota": 0.478
        }
    }
},
"wind": {
    "name": "Vindkraft",
    "energies": {
        "electric": {
            "efficiency": 1.00,
            "quota": 0.065
        }
    }
},
"energies": {
    "fuel": {
        "name": "Drivmedel",
        "sectors": {
            "transport": {
                "efficiency": 0.28,
                "amount": 14
            }
        }
    }
},
"electric": {

```

```

"name": "El",
"energies": {
  "heat_pump": {
    "efficiency": 0.90,
    "quota": 1.00
  },
  "heating_residences": {
    "efficiency": 0.90,
    "quota": 0.24
  }
},
"sectors": {
  "residences": {
    "efficiency": 0.90,
    "amount": 55
  },
  "industry": {
    "efficiency": 0.90,
    "amount": 53
  },
  "transport": {
    "efficiency": 0.90,
    "amount": 2.0
  }
},
"heat_pump": {
  "name": "Värmepump",
  "energies": {
    "district_heating": {
      "efficiency": 2.5,
      "quota": 0.24
    }
  }
},
"district_heating": {
  "name": "Fjärrvärme",
  "energies": {
    "heating_residences": {
      "efficiency": 0.81,
      "quota": 0.49
    },
    "heating_industry": {
      "efficiency": 0.81,

```

```

        "quota": 0.04
      }
    },
    "heating_residences": {
      "name": "Värme, bostäder",
      "sectors": {
        "residences": {
          "efficiency": 1.00,
          "amount": 90
        }
      }
    },
    "heating_industry": {
      "name": "Värme, industri",
      "sectors": {
        "industry": {
          "efficiency": 1.00,
          "amount": 121
        }
      }
    }
  },
  "sectors": {
    "residences": {
      "name": "Bostäder"
    },
    "transport": {
      "name": "Transport"
    },
    "industry": {
      "name": "Industri"
    }
  }
}

```

Här är inputdatan från scenario 1 alternativ 1:

```

{
  "name": "Sveriges primärenergitillförsel",
  "primary_energies": {
    "fossil": {
      "name": "Fossila bränslen",
      "energies": {

```

```

    "heating_residences": {
      "efficiency": 0.80,
      "quota": 0.17
    },
    "heating_industry": {
      "efficiency": 0.90,
      "quota": 0.60
    },
    "district_heating": {
      "efficiency": 0.75,
      "quota": 0.102
    },
    "electric": {
      "efficiency": 0.35,
      "quota": 0.057
    },
    "fuel": {
      "efficiency": 0.9,
      "quota": 0.40
    }
  }
},
"bio": {
  "name": "Biobränslen",
  "energies": {
    "fuel": {
      "efficiency": 0.50,
      "quota": 0.60
    },
    "heating_residences": {
      "efficiency": 0.80,
      "quota": 0.00
    },
    "heating_industry": {
      "efficiency": 0.90,
      "quota": 0.36
    },
    "district_heating": {
      "efficiency": 0.75,
      "quota": 0.358
    },
    "electric": {
      "efficiency": 0.30,
      "quota": 0.00
    }
  }
}

```

```

    }
  },
  "nuclear": {
    "name": "Kärnkraft",
    "energies": {
      "electric": {
        "efficiency": 0.34,
        "quota": 0.43
      }
    }
  },
  "water": {
    "name": "Vattenkraft",
    "energies": {
      "electric": {
        "efficiency": 1.00,
        "quota": 0.448
      }
    }
  },
  "wind": {
    "name": "Vindkraft",
    "energies": {
      "electric": {
        "efficiency": 1.00,
        "quota": 0.065
      }
    }
  },
  "energies": {
    "fuel": {
      "name": "Drivmedel",
      "sectors": {
        "transport": {
          "efficiency": 0.28,
          "amount": 14.2
        }
      }
    }
  },
  "electric": {
    "name": "El",
    "energies": {

```



```

    "heat_pump": {
      "efficiency": 0.90,
      "quota": 1.00
    },
    "heating_residences": {
      "efficiency": 0.90,
      "quota": 0.27
    }
  },
  "sectors": {
    "residences": {
      "efficiency": 0.90,
      "amount": 55
    },
    "industry": {
      "efficiency": 0.90,
      "amount": 53
    },
    "transport": {
      "efficiency": 0.90,
      "amount": 1.8
    }
  }
},
"heat_pump": {
  "name": "Värmepump",
  "energies": {
    "district_heating": {
      "efficiency": 2.5,
      "quota": 0.54
    }
  }
},
"district_heating": {
  "name": "Fjärrvärme",
  "energies": {
    "heating_residences": {
      "efficiency": 0.81,
      "quota": 0.56
    },
    "heating_industry": {
      "efficiency": 0.81,
      "quota": 0.04
    }
  }
}

```

```

    }
  },
  "heating_residences": {
    "name": "Värme, bostäder",
    "sectors": {
      "residences": {
        "efficiency": 1.00,
        "amount": 90
      }
    }
  },
  "heating_industry": {
    "name": "Värme, industri",
    "sectors": {
      "industry": {
        "efficiency": 1.00,
        "amount": 121
      }
    }
  },
  },
  "sectors": {
    "residences": {
      "name": "Bostäder"
    },
    "transport": {
      "name": "Transport"
    },
    "industry": {
      "name": "Industri"
    }
  }
}

```

Här är inputdatan från scenario 1 alternativ 1:

```

{
  "name": "Sveriges primärenergitillförsel",
  "primary_energies": {
    "fossil": {
      "name": "Fossila bränslen",
      "energies": {
        "heating_residences": {
          "efficiency": 0.80,

```

```

        "quota": 0.15
    },
    "heating_industry": {
        "efficiency": 0.90,
        "quota": 0.56
    },
    "district_heating": {
        "efficiency": 0.75,
        "quota": 0.102
    },
    "electric": {
        "efficiency": 0.35,
        "quota": 0.018
    },
    "fuel": {
        "efficiency": 0.9,
        "quota": 0.40
    }
},
"bio": {
    "name": "Biobränslen",
    "energies": {
        "fuel": {
            "efficiency": 0.50,
            "quota": 0.60
        },
        "heating_residences": {
            "efficiency": 0.80,
            "quota": 0.13
        },
        "heating_industry": {
            "efficiency": 0.90,
            "quota": 0.40
        },
        "district_heating": {
            "efficiency": 0.75,
            "quota": 0.658
        },
        "electric": {
            "efficiency": 0.30,
            "quota": 0.04
        }
    }
}

```

```

    },
    "nuclear": {
      "name": "Kärnkraft",
      "energies": {
        "electric": {
          "efficiency": 0.34,
          "quota": 0.419
        }
      }
    },
    "water": {
      "name": "Vattenkraft",
      "energies": {
        "electric": {
          "efficiency": 1.00,
          "quota": 0.494
        }
      }
    },
    "wind": {
      "name": "Vindkraft",
      "energies": {
        "electric": {
          "efficiency": 1.00,
          "quota": 0.029
        }
      }
    },
    "energies": {
      "fuel": {
        "name": "Drivmedel",
        "sectors": {
          "transport": {
            "efficiency": 0.28,
            "amount": 8.8
          }
        }
      }
    },
    "hydrogen": {
      "name": "Vätgas",
      "sectors": {
        "transport": {
          "efficiency": 0.34,

```

```

        "amount": 3.2
    }
},
"electric": {
    "name": "El",
    "energies": {
        "heat_pump": {
            "efficiency": 0.90,
            "quota": 1.00
        },
        "heating_residences": {
            "efficiency": 0.90,
            "quota": 0.23
        },
        "hydrogen": {
            "efficiency": 0.90,
            "quota": 1.00
        }
    },
    "sectors": {
        "residences": {
            "efficiency": 0.90,
            "amount": 55
        },
        "industry": {
            "efficiency": 0.90,
            "amount": 53
        },
        "transport": {
            "efficiency": 0.83,
            "amount": 4
        }
    }
},
"heat_pump": {
    "name": "Värmepump",
    "energies": {
        "district_heating": {
            "efficiency": 2.5,
            "quota": 0.24
        }
    }
},
},

```

```

    "district_heating": {
      "name": "Fjärrvärme",
      "energies": {
        "heating_residences": {
          "efficiency": 0.81,
          "quota": 0.49
        },
        "heating_industry": {
          "efficiency": 0.81,
          "quota": 0.04
        }
      }
    },
    "heating_residences": {
      "name": "Värme, bostäder",
      "sectors": {
        "residences": {
          "efficiency": 1.00,
          "amount": 90
        }
      }
    },
    "heating_industry": {
      "name": "Värme, industri",
      "sectors": {
        "industry": {
          "efficiency": 1.00,
          "amount": 121
        }
      }
    },
    "sectors": {
      "residences": {
        "name": "Bostäder"
      },
      "transport": {
        "name": "Transport"
      },
      "industry": {
        "name": "Industri"
      }
    }
  }

```