



Fyra framtider

Energisystemet efter 2020

Explorativa scenarier

Publikationer utgivna av Energimyndigheten
kan beställas eller laddas ned via www.energimyndigheten.se
eller beställas genom att skicka e-post till
energimyndigheten@arkitektkopia.se eller per fax 08-505 933 99

© Statens energimyndighet

ET 2016:04

April 2016

Upplaga: 700 ex

Grafisk form: Granath

Tryck: Arkitektkopia, Bromma

Omslagsbild: Getty Images & Shutterstock

Övriga bilder: Getty Images, Shutterstock & Johnér

Framtiden börjar i dag

Det du nu läser är olikt allt annat du sett från Energimyndigheten. Utredningen Fyra framtider ger en startpunkt för en modern energidialog. En dialog som tar helhetsgrepp, har samhällsperspektiv och visar vikten av att hamna rätt i omställningen.

På Energimyndigheten vet vi mycket om energisystemets utveckling. Vi gör prognoser, håller koll på marknaden och utvärderar styrmedel. Vi utvecklar strategier för forskning och innovation och inleder nya samarbeten med akademi, näringsliv och intresseorganisationer för att driva utvecklingen framåt. Men. Energibranschen kommer att förändras mer de kommande fem åren än den gjort de senaste 50 åren. Många omvärldsfaktorer bidrar till den takten och vi ansåg att vi behöver komplettera energiarenan med nya underlag och ett nytt grepp. Därför startade vi vår egen utredning om energisystemet efter 2020, för att bredda vår egen kunskap och framför allt för att ge plats för en ny konstruktiv dialog.

Vi har i utredningen släppt det traditionella tillförselperspektivet, men rapporten är lika väl underbyggd med fakta och kunskap som vanligt. Vi visar också tydligt att energi inte är en isolerad fråga, utan ingår i ett sammanhang om hur vi tänker kring utveckling av transporter, bostäder, jobb och vårt landskap.

Vi har tidigare i projektet skrivit om de viktigaste knäckfrågorna kring energi i rapporten **Vägval och utmaningar för energisystemet**. Utifrån dem beskriver vi nu fyra olika vägar framåt. Varje framtid har olika drivkrafter som dikterar samhällsutvecklingen, till exempel global rättvisa, konkurrenskraft, individualism eller säker energiförsörjning.

Att beskriva samhällsutvecklingen på detta sätt, gör att både vi och aktörer på energiarenan får större förståelse för olika perspektiv i dagens energidebatt. Alla behöver vi ibland lyfta blicken från skatter, elpriser och budgetförslag. Alla behöver vi nu en inspirerande dialog om ”vart är vi på väg?” och vad får det för konsekvenser?

Vi skissar upp ett helhetsperspektiv. Vi beskriver utan att ta ställning. Vi visar fyra möjliga energiframtider. Det går förstås att plocka element från alla scenarier för att möjliggöra den omställning man anser bäst för Sverige. Arbetet med vårt framtida energisystem är aldrig färdigt. Utredningen är en kristalliseringspunkt. Om vi får möjligheten framöver vill vi gärna återkomma och utveckla vårt arbete med scenarier för att bättre förbereda oss för framtiden. Självklart tillsammans med alla er som intresserar sig för Sveriges energisystem och samhällsutveckling.

Jag vill tacka alla fantastiska kollegor på Energimyndigheten som med djup kunskap har engagerat sig i ett på alla sätt ovanligt projekt. Stort tack också till energikollegor i landet för råd och inspel. Det finns ingen roligare tid att jobba med energifrågan än just i dag.

Nu tar vi nästa steg in i Sveriges energihistoria.



Erik Brandsma
Generaldirektör



Innehåll

Sammanfattning 8

Fyra framtider med energi i fokus 12

Prioriteringar som formar energisystemet 14

Gemensamma förutsättningar i de fyra framtiderna 16

Scenario Forte – energi som bränsle för tillväxt och framgång 22

Scenario Legato – energi är en globalt begränsad resurs 40

Scenario Espresso – energi är ett uttrycksmedel 64

Scenario Vivace – energi är en språngbräda för klimatförbättring 86

Grafik: Jämförelser av de fyra framtiderna 106

Analys av de fyra scenarierna 110

Grafik: Jämförelser över miljö- och climateffekter 126

Diskussion 132

Slutsatser 142

Vägval och utmaningar för energisystemet 146

Slutord 154

Bilagor 156

Sammanfattning

Satsningar på energi är långsiktiga. Planering som börjar i dag formar samhället decennier framöver. Ändå har det saknats en framtidsdiskussion om vilken typ av samhälle energin ska interagera i. Hur delaktiga vill hushåll vara i att producera sin egen el? Hur vill vi koppla ihop tillväxt och energi? Är energi framför allt en fråga för Sverige, eller en fråga för världen?

Det här har Energimyndigheten haft anledning att tänka på i arbetet med utredningen Energisystemet efter 2020. Vi började med att sammanställa vilka knäckfrågor vi ser inom energiområdet, frågor som på något sätt måste redas ut för att komma vidare i omställningen av energisystemet. Vi ringade in dem i ämnena: energihushållning, elsystemet, transporter, bioenergi och olika aktörers roll och ansvar i omställningen av energisystemet. Vi beskriver här kort varje ämne.

Många lyfter fram energieffektivisering och energihushållning som avgörande för omställningen till ett långsiktigt hållbart energisystem. De menar att energieffektivisering är den första prioritering politiker ska göra för att nå ett hållbart energisystem. Ändå händer det förhållandevis lite.

Det svenska elsystemet står i dag inför stora förändringar, eftersom flera produktionsanläggningar börjar åldras. Samtidigt ändras användningen av elsystemet. Fler och fler vill nu börja producera el och ställer helt nya krav på hur elsystemet och elmarknaderna ska fungera när viss produktion går från centraliserad till decentraliserad.

I dag står transportsektorn för en tredjedel av Sveriges totala slutliga energi-användning och mycket av energin är fossila bränslen. För att transporterna ska bli fossilfria måste användningen av förnybar el och biodrivmedel öka, men allt kommer inte gå att ersätta. Energianvändningen för transporter måste också minska.

Biomassa spelar en avgörande roll i omställningen till ett hållbart samhälle, bland annat för att ersätta fossil energi. Men det finns en diskussion om hur samhället bäst använder sig av denna resurs, eftersom bioenergi konkurrerar med andra nyttor i samhället, som mat och råvaror till industrin.

Sverige har i dag många olika aktörer som tillsammans utformar energisystemet. Vi ser tre huvudgrupper: offentliga sektorn, privata vinstdrivande aktörer och privata icke vinstdrivande aktörer, främst hushåll. Alla aktörer har en roll för att ställa om energisystemet i en långsiktigt hållbar riktning. Roller och ansvar mellan olika aktörer i energisystemet är inte självklara, och de förändras dessutom över tid. Den som i dag är konsument kanske i morgon är en elproducent och har möjlighet att lagra energi.

Alla dessa knäckfrågor har vi diskuterat djupare i rapporten **Vägval och utmaningar för energisystemet**. Ett annat underlag vi tagit fram är rapporten **Industrins långsiktiga utveckling i samspel med energisystemet** som diskuterar olika strategier för att svensk industri ska nå nära noll utsläpp av koldioxid och hur det påverkar energisystemet. Energieffektivisering i industrin är en viktig pusselbit men det krävs stora omställningar och investeringar om samhället helt ska kunna vara utan fossila bränslen. Båda dessa rapporter ligger som kunskapsgrund för fortsättningen.

I **Fyra framtider** har vi arbetat med scenarier för att föreställa oss hur framtidens energisystem kan komma att se ut, beroende på vad samhället tycker är viktigt när det gäller energi. Vi målar upp fyra framtidsbilder och kallar dem Forte, Legato, Espresso och Vivace. Namnen kommer från musikens värld. Forte betyder starkt, Legato sammanbundet, Espresso uttrycksfullt och Vivace står för livligt. Namnen visar vilken som är den viktiga prioriteringen i varje framtid.

Energin som används kommer från olika energislag och används på olika sätt. Även hur stor energianvändningen är skiljer sig i de olika scenarierna. Gemensamt för alla framtider är att energi inte är en isolerad fråga utan tätt sammanlänkad med alla delar av samhället som hur vi bor, vad vi arbetar med och hur vi organiserar vårt samhälle.

I FORTE är det viktigt att samhället ser till att energipriserna är låga framför allt för industrin. Velfärden bygger på ekonomisk tillväxt och att det finns jobb. Säker tillgång till energi är också en av Fortes huvudprioriteringar.

I LEGATO handlar det om att minska energisystemets miljöpåverkan och om att bidra till att lösa en global fråga. Där är det viktigt med ekologisk hållbarhet och global rättvisa, vilket präglar lösningarna.

ESPRESSIVO bygger mycket på egna initiativ och konsumenterna som vill ha individuella lösningar och flexibilitet. Här är grön energi en stark drivkraft. Decentralisering, småskalig egenproduktion och att köpa tjänster är viktiga inslag i Espresso.

VIVACE har starkt klimatfokus. Sverige har valt att bli ett föregångsland när det gäller grön tillväxt och utvecklar exportmarknaden för miljöteknik och bioindustri, vilket skapar nya typer av jobb.

Fyra framtider med energi i fokus

Hur använder vi energi i framtidens samhälle? Den frågan blir högaktuell nu när energisystemet i Sverige står inför stora förändringar. Nya beslut måste fattas när det gäller energisystemets utformning; befintliga kärnreaktorer kommer att stängas och andelen förnybar energi ökar troligen. Samtidigt påverkar klimatförändringarna oss allt mer, och vår omvärld förändras snabbt genom till exempel digitalisering och teknikutveckling. Mitt i allt detta är det viktigare än någonsin att ställa sig frågan om framtidens energianvändning.

Prioriteringar för framtidens energisystem avgörs av samhällsutvecklingen. Beroende på vilka utgångspunkter politiker, näringsliv och samhället i övrigt har, finns flera möjliga utfall för energisystemet – och samhället.

I vår scenariostudie **Fyra framtider** målar vi upp olika scenarier av samhällsutvecklingen och energisystemet efter 2020 mot 2050. Vad kan dessa framtider innebära för svensk energipolitik de närmaste åren? Vilka utmaningar och möjligheter ser vi i dessa framtider? Vi vill med scenariostudien bättre förbereda oss för framtiden och bredda diskussionen om energisystemets utveckling tillsammans med politiker, beslutsfattare och övriga intressenter i Energisverige.

I första fasen av utredningen Energisystemet efter 2020 tog vi fram rapporten **Vägval och utmaningar för energisystemet**¹. Fem kapitel om energihushållning, kraftsystemet, transporter, bioenergi och olika aktörers roll tog upp knäckfrågor vi har identifierat som avgörande för det framtida energisystemet. Vi har med hjälp av Lunds universitet tagit fram en rapport med olika framtider för industrins utveckling **Industrins långsiktiga utveckling i samspel med energisystemet**². Tillsammans med denna scenariostudie Fyra framtider utgör dessa rapporter ett paket som hjälper oss att angripa framtiden, med mer vetskap om de viktigaste frågorna och med en bredare syn på möjliga utvecklingsvägar.

¹ ET 2015:10 Vägval och utmaningar för energisystemet.

² ER 2015:18 Industrins långsiktiga utveckling i samspel med energisystemet.

Vi hoppas att våra fyra scenarier kan inspirera i energi- och samhällsdebatten, och vara ett underlag för att navigera mellan möjliga utfall.

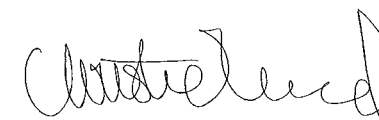
Vi vill tacka professor Björn Sandén från Chalmers, docent Bengt Johansson från Lunds universitet och forskare på FOI och professor emeritus Lars Ingelstam som utgjort referensgrupp till projektet, samt Mathias Gustavsson från IVL som utgjort värdefullt stöd i projektet och bidragit till rapporten.

Scenariernas namn kommer från musiken. Kompositörer använder musiktermer för att berätta om olika uttryck som musiken tar sig. Vi tycker att de även ger en bra beskrivning för hur energin tar sig uttryck i våra fyra framtider.

Välkomna in i Forte, Legato, Espressivo och Vivace.



Åsa Tynell
Projektledare



Christine Riber Marklund
Biträdande projektledare

Prioriteringar som formar framtiden

Våra fyra framtider erbjuder olika vägar till ett robust energisystem och tar sin utgångspunkt i att energin har olika roller i samhället³. Hur vi organiserar samhället är minst lika centralt i scenarierna som vilka energiförsörjningstekniker vi prioriterar. Poängen är, att den roll som samhällets aktörer tillskriver energi och energisystemet kan ge stora förändringar i samhället, och styr prioriteringar och val inom energipolitiken.

Scenarierna som utvecklats är explorativa och ger ett brett perspektiv på möjliga utvecklingsvägar för det svenska energisystemet. Scenarierna förutsäger inte den mest sannolika utvecklingen, och behöver inte heller uppfylla befintliga miljö- och klimatmål. De ska i stället beskriva en utveckling av energisystemet som följer av vilken prioritering som blir viktigast i respektive framtid. Scenarierna är inte en politiskt utstakad väg, utan ett resultat av förändringar i samhället, understödda av befolkning, omvärld och politiker.

Vi förutsätter i samtliga scenarier att Sverige fortfarande är en demokrati med samma grundlag som i dag, och med dagens nivå på välfärd.

Våra fyra scenarier består av en övergripande beskrivning av de olika huvud dragen, både vad gäller samhället i stort och utvecklingen av energisystemet. Beskrivningen utgör kärnan i scenariot och följs av fördjupade beskrivningar av hur energianvändning, energitillförsel och andra aspekter av energisystemet har utvecklats i enlighet med samhället. Vi beskriver också vilken politik och styrning som kan bli aktuell i respektive scenario. Vi diskuterar konsekvenser och utmaningar som kan följa av respektive framtid med fokus på miljö, klimat och ekonomi. Vi gör ett nedslag runt år 2035 och blickar framåt till år 2050. I vissa särskilt intressanta frågor har vi gjort fördjupningar, som till exempel för elvägar, fossilfritt transportsystem och om de nya elmarknaderna.

Vi antar att omvärldsförändringar möjliggör eller förstärker de olika utvecklingarna, men fokus är helt på utvecklingen i Sverige och på de prioriteringar Sverige gör.

³ Energi ska här inte uppfattas enbart som en fysisk storhet, utan snarare som ett begrepp och som meningsskapare i samhället.

Våra fyra framtider är:





Gemensamma förutsättningar i de fyra framtiderna

I framtidsscenarierna finns flera bakomliggande globala trender. Sådana "megatrender" nämns och beskrivs med en relativt hög grad av samstämmighet av många källor, till exempel EU:s European Environment Agency och det danska Institutet för fremtidsforskning. Dessa trender gäller mer eller mindre starkt i alla fyra scenarierna.



Global uppvärmning fortsätter

Uppvärmning av jorden och ökningen av dess medeltemperatur är enligt IPCC:s senaste rapport⁴ entydig. Atmosfären och oceanerna har blivit varmare, mängden snö och is har minskat, havsnivån har stigit och koncentrationen av växthusgaser har ökat. Extremt väder blir vanligare. Regnfattiga och solintensiva områden blir allt torrare och varmare, medan områden närmare polerna får en kraftig ökning av temperatur och nederbörd. Beroende på hur stor den globala uppvärmingen blir påverkas Sverige olika mycket, men SMHI:s klimat-scenarier⁵ tyder på att vi ser en temperaturökning även i Sverige. Årsmedelnederbörden ökar, framför allt i västra Sverige⁶.

För Sverige kan klimatförändringarna medföra att landet får en mer betydande roll som global livmedelsproducent eftersom andelen odlingsbar mark globalt minskar samtidigt som Sverige får ett mer gynnsamt odlingsklimat. Vi kan få ökad immigration från länder som drabbas hårdare av klimatförändringarna. Ytterligare konsekvenser av klimatförändringarna kan vara ökade samhällskostnader för att hantera översvämningar och minskad möjlig yta för bebyggelse i kustnära områden. Å andra sidan kan behov av uppvärmning till byggnader minska.



Fattigdom minskar och utbildningsnivån ökar

Majoriteten av redan i dag utvecklade länders befolkning och stora grupper i tidigare utvecklingsländer får det allt bättre och blir mer välutbildade. Fler får också tillgång till el, bra bostäder och möjlighet att resa. Det innebär ekonomiska förändringar, men ger också ökad energianvändning och miljöpåverkan.

Världen urbaniseras och fortast sker det i områden med snabb befolkningsutveckling eller industrialisering, främst i Asien och Afrika och innebär utmaningar för både infrastruktur, miljö och traditionella levnadsmönster.



Natur, miljö- och hälsofrågor blir allt viktigare

Frågor kring hälsa och närmiljö värderas allt högre och det blir ett ökat fokus på frågor som rent dricksvatten, odlingsmark och luftkvalitet, men även på livsstilssjukdomar som övervikt och stress. Många miljö- och hälsoproblem är kopplade till användningen av energi, speciellt fossila bränslen. Framtiden ställer högre krav på länders förmåga till hållbar resurshantering och bättre förvaltning av naturresurser och ekosystemtjänster⁷. Behovet av miljöteknik är stort, men utvecklingen styrs i hög grad av ländernas egna politiska prioriteringar.



Digitalisering utvecklar helt nya tjänster

Elektroniken blir en allt naturligare del av vår vardag. Digitala nätverk blir ett centralt begrepp som genomsyrar vårt sätt att tänka. Inom energiområdet kan digitalisering påskynda en strukturomvandling i branschen. Smarta elnät, smarta hem och smarta prylar, så kallat sakernas internet⁸, skapar förutsättningar för energieffektivisering och mer optimerad el- och värmeanvändning. Samtidigt kan elanvändning öka då allt mer är uppkopplat.

Digitaliseringen leder till nya möjligheter, men också till utmaningar när det gäller etik- och integritet, med fler möjligheter till övervakning av medborgare både från stat och företag.



Teknisk utveckling fortsätter i snabb takt

Sedan industrialismens början har teknikutvecklingen accelererat och det finns inget som tyder på att den bromsar upp. Svensk industri samt tjänstesektorer satsar på att ta fram konkurrenskraftiga produkter och tjänster för en global marknad.

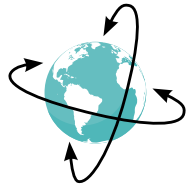
4 IPCC fifth assessment report, <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>

5 www.smhi.se/klimat/framtids-klimat/klimatscenarier#area=eur&dnr=0&sc=rcp85&seas=ar&var=t

6 www.smhi.se/klimat/framtids-klimat/lansanalyser#00_Sverige.precip_sumAnnual,ANN

7 Ekosystemtjänster avser direkta och indirekta funktioner hos ekosystem vilka bidrar till människors och samhällets försörjning och välbefinnande. Ekosystemtjänster som avser produkter som skogsråvaror och liknande kan ge direkt ekonomisk vinst.

8 Internet of things, saker är uppkopplade till exempel kyl och frys eller värmepumpar.



Globalisering länkar ihop länder på nya sätt

Det sker en snabbt växande global sammanlänkning av människor, kapital, varor och tjänster. Handeln mellan länder underlättas eftersom det finns möjlighet att etablera verksamhet där det är mest lönsamt.



Fler människor behöver bostäder

Globalt sker en befolkningstillväxt fram till 2050. Efter 2050 avtar troligen tillväxttakten⁹ och befolkningen åldras globalt sett. Det är sannolikt att det sker en befolkningsminskning i vissa geografiska områden, till exempel i delar av Europa.

För Sveriges räkning har SCB en prognos som säger att befolkningen passerar 10 miljoner redan år 2016, når 11,7 miljoner år 2035 och 12,4 miljoner år 2050¹⁰. Bostadsbrist och större befolkning ökar behovet av nya bostäder i Sverige. Boverket gör bedömningen att 705 000¹¹ bostäder behöver byggas fram till 2025.



Konkurrensen om naturresurserna ökar

Kombinationen av befolkningsökning, ökat välstånd och effekter av klimatförändringar leder till intensivare belastning på viktiga naturresurser som till exempel vatten, odlingsbar mark, och olika råvaror. Sverige, som en aktör på de globala råvarumarknaderna, påverkas genom att landet saknar egna fossila bränsletillgångar men har stor användning av och potential för förnybar energi som vattenkraft, bioenergi, vindkraft och solkraft. Dessutom har Sverige stora råvarutillgångar inom gruv- och skogsnäringen.

⁹ UN World Population Prospects: 2015 Revision.

¹⁰ SCB 2015 Befolkningsprognos.

¹¹ Boverket 2015 "Behov av bostadsbyggande" 2015:18.

FORTE

Scenario Forte
– energi som bränsle för tillväxt
och framgång

FORTE

BETYDER
STARKT

*I Forte fungerar energi som
bränsle för tillväxt och framgång.
Energipolitikens fokus är säker tillgång till
energi till låga och stabila priser och effektiv
godstrafik åt industrin.*

Användning
375 TWh
2050

Utgångspunkten i Forte är att säker energitillgång till låga och stabila energipriser är viktigt för den energiintensiva industrin, som ett medel för svenskt välstånd. I Forte ligger samhällets fokus på att bemöta den mycket hårda internationella konkurrensen för den europeiska industrin. Asien och Afrika tar allt fler marknadsandelar på globala marknader. Svenska företag börjar se konsekvenserna av detta redan kort efter 2020, i och med att situationen blir allt mer trängd för de traditionella energi- och naturresursintensiva industribranscherna (som järn och stål-, skogs- och petrokemiindustrin). De politiska partierna sätter ekonomisk tillväxt och jobbskapande här och nu i första rummet och lyssnar noga på industrin.

Även från väljarhåll läggs stor vikt vid omsorg om den befintliga industrin, eftersom väljarna annars befarar att arbetslösheten ökar. Energidebatten kommer alltmer att fokusera på leveranssäkerhet och konkurrenskraftiga, förutsägbara energipriser från ett storskaligt, centraliserat energisystem. Sveriges befolkning anser att staten har ansvar att tillgodose dessa. Sveriges regering har fortfarande för avsikt att minska energisystemets klimat- och miljöpåverkan, men bara så länge åtgärderna inte försämrar industrins konkurrenskraft. Klimat- och miljöåtgärderna riktas därför främst mot andra sektorer, som persontransporter och bostäder.



Samhällsplanering



Näringslivet efterfrågar effektiva transportmedel och möjlighet att etablera nya industrier i strategiska lägen, till exempel nära hamnar. Därför får riksintressena ”industriell produktion”, ”transporter” och ”energiproduktion” styra över exempelvis riksintresset ”natur” och över regionala och kommunala intressen i samhällsplaneringen. Detta för att säkra att stora infrastrukturprojekt kan genomföras. Samhällsplaneringen utgår ifrån industrins behov av infrastruktur och enskilda transporter med fokus på vägar för godstrafik och privatbilism. Nybyggnation sker främst utifrån var medborgarna vill bo och hur de vill bo, och efterfrågan på attraktiva boendemiljöer har ett stort inflytande över samhällsplaneringen.

Sverige behöver konkurrenskraftiga företag som utvecklar nya produkter och tjänster. Företagens konkurrenskraft påverkas dock av den miljö och de villkor som finns där företagen verkar. Behovet av skatteintäkter för att klara välfärden är stort och för kommunerna är det av största vikt att behålla de befintliga företagen och arbetskraften men också att locka till sig fler företag och nya invånare.

Behovet av nya bostäder har varit stort i hela landet under en längre tid och nya detaljplaner tas fram i rask takt. Utanför storstadsområden har det fått till följd att flertalet bostäder uppförts på grönområden i staden/tätorten eller en bit utanför de centrala delarna, exempelvis i äldre sommarstugeområden eller på åker- eller skogsmark, något som också uppfattas vara attraktiva boendemiljöer.

Önskemålet om transportmöjligheter är grundläggande och att försöka minska transporterna genom en transportsnål samhällsplanering är inte aktuellt i Forte.

Livsstil och boende



Livsstilen i Forte liknar dagens med den skillnaden att där finns en starkare tro på industri och produktionssektor som motor i svenskt välstånd. Vi ökar konsumtionen av varor och tjänster, vilket ökar importen från utlandet. Resor och konsumtion fortgår i samma omfattning som i dag. Ökade inkomster är prioriterat i Forte och förvärvsarbete är fortfarande den viktigaste delen av människors försörjning med åtta timmars arbetsdag.

Boendet liknar dagens. Industrin växer, vilket gör att mindre industriorter behåller eller ökar sitt befolkningsantal och sitt serviceutbud. Naturresurser behöver förvaltas och i andra fall utvinns och därför finns arbetstillfällen fortsatt på många orter även utanför storstäderna. Energianvändningen i hushåll minskar successivt i och med viss renovering av husbeståndet.

Industri



För att klara konkurrensen från omvärlden satsar de svenska industriföretagen mer på specialisering och produktförädling, vilket kräver en stor satsning på forskning och innovation. Gruvindustrin ökar sin produktion och öppnar nya gruvor. Detta leder till att branschen ökar sin energianvändning, främst av el och fossila bränslen. Järn- och stålindustrin gör också stora satsningar inom nischade produkter och högförädlade stålsorter, vilket gör att de också ökar sin produktion och därmed energianvändning. Det som ökar är framför allt användningen av el och fossila bränslen.

För massa- och pappersindustrin och sågverk innebär låga och stabila elpriser att den internationella marknaden för branschens produkter expanderar. Den ökade produktionen innebär mer användning av framför allt biomassa och el i skogsindustrierna. Investeringar i ny produktionsutrustning slår igenom till 2050.

Verkstadsindustrin och små- och medelstora växer, dels som följd av satsningen på forskning och innovation, dels genom att vara underleverantörer till de större energiintensiva företagen. I Forte ökar industrin både sin produktion och energianvändning jämfört med i dag och det beror främst på de ökade satsningarna inom järn- och stålindustrin samt gruvindustrin.

Transport



Industrins starka tillväxt gör att godstransporterna ökar. Fungerande godstransporter är viktigt för industrins konkurrenskraft, särskilt i ett land med gles befolkning och långa avstånd som Sverige.

Staten gör därför stora satsningar på infrastruktur inom alla transportsätt och stödjer även smidiga övergångar mellan transportslag, som tåg, lastbil och båt. Statens satsningar på utbyggnad av el bidrar till låga elpriser vilket gynnar de energiintensiva företagen särskilt och deras transportbehov växer betydligt.

Staten fokuserar framför allt på elbaserade transportlösningar. Då elpriset förväntas vara lågt jämfört med andra energislag blir elektrifierade transportsystem attraktiva. Flera industrier satsar tillsammans med staten på teststräckor för att sedan fullt ut bygga industriskyttlar (se faktaruta till höger). Efter flera satsningar på demonstrationsanläggningar beslutar regeringen även att bygga ut elvägar i vägnätet i en triangel mellan Stockholm–Göteborg–Malmö–Stockholm. Detta gör det möjligt med långväga gods- och persontransporter på landsväg, underlättar för industrin och passar in i Sveriges strategi med utbyggnad av elproduktionskapacitet. Elvägarna står inte klara till 2035, men till 2050 är all infrastruktur på plats.

För att öka godstrafiken på järnväg förändras prioriteringsordningen i tågtrafikledningen, så att persontåg inte längre prioriteras framför godståg. För att öka den samlade kapaciteten för godstrafik på järnväg initierar regeringen byggande av särskilda godsstråk i hela landet, genom uppgradering och elektrifiering av befintliga lågtrafikerade järnvägar. Det avlastar stambanestråk med omfattande godstrafik, vilket minskar trängsel och konkurrens om spåren.



INDUSTRISKYTTLAR TAR TÄTEN

De första implementeringarna av elvägar kommer att kunna ske de närmaste åren där det är tillämpligt med så kallade industriskyttlar. Industriskyttlar, godstrafikens busstrafik, är trafik som är repetitiv med hög intensitet och med dedikerade fordon. Typiska industriskyttlar finns i gruvor, hamnar och logistikcenter. Då utvecklingen av elvägar och autonoma fordon sker parallellt så skulle de första tillämpningarna av autonoma fordon kunna vara på elvägar.

Elvägar kräver en viss minimistandard på de vägar där de anläggs. Detta medför att elvägar maximalt kan byggas ut till att omfatta samtliga riksvägar. Sträckor med mycket tjälskjutning eller andra problem med själva grundläggningen kommer inte att elektrifieras. Sådana problem blir mer och mer närvarande ju längre norrut man kommer i landet. Därför minskar antagligen elektrifieringsgraden norrut, utom där industrier har en möjlighet att själva betala för en högre vägstandard än vad som annars varit möjlig, eller där staten bygger en högre vägstandard för att gynna industrin.

Elvägar har en potential att samverka med elsystemet eftersom själva vägarna utgör en bra ”konsument” av el med stadig förbrukning på relativt hög nivå. I Forte kommer inslaget av sådan matning till elvägarna styras av de legala förutsättningarna för inmatning från mindre producenter.

Möjligheten att agera lager i ett framtida elsystem kan bli viktig men kommer även vara avhängigt hur stor andel förnybart som byggs upp i energisystemet, då det uppstår mer behov av balanskraft.

Tunga fordon av hybridtyp som troligen kommer att trafikera elvägarna har i de allra flesta fall en möjlighet till drift med förbränningsmotor. Denna möjlighet innebär även att hybridfordonen kan användas för att avlasta elnätet genom att i stället köra på förbränningsmotorn till exempel vid extremt kall väderlek eller bortfall av produktionskapacitet.

ELVÄGAR FORTE

I Forte byggs elvägar ut för att göra industrins transporter billigare och klimatvänligare.

Hur stor etableringen av elvägar kommer att bli hänger på hur mycket av kostnaderna för olika typer av miljö- och klimatpåverkan som i framtiden kommer att belasta respektive trafikslag i form av skatter eller andra styrmedel. Några nyckelförutsättningar som kommer att vara viktiga för en omfattande etablering av elvägar är att:

- Staten hjälper till att bekosta de första etableringarna, som behövs för att visa att tekniken fungerar
- Staten fattar beslut om vilken finansieringsmodell som ska gälla om elvägssystem ska etableras på allmän väg
- Något av de nu förekommande systemen etableras som den nationella (alternativt EU-) standarden

Tunga fordon blir alltmer energieffektiva och längre och tyngre fordon tillåts. Staten håller nere kostnaderna för tunga transporter genom att till exempel inte höja drivmedelsskatter och inte införa kilometerskatt. Viss del av dieselanvändningen för tunga transporter ersätts med naturgas, främst på grund av en vilja att öka spridningen av vilka drivmedel som används i energianvändning för tunga transporter. Industrin initierar en infrastruktur för naturgas¹² för tunga fordon samt i hamnar. En stor del av naturgasen används i sjöfarten.

Det är fortfarande viktigt att minska klimatpåverkan från transportsektorn, men åtgärderna riktas främst mot persontransporterna. Persontransporter ökar på grund av mer arbetspendling, men inte lika mycket som godstransporterna. Persontransporternas intensitet ökar totalt sett, men nivåerna hålls nere på grund av satsning på elfordon, energieffektivare fordon samt viss övergång till kollektivtrafik.

¹² Naturgas är en fossil gas.

Staten prioriterar försörjningstrygghet högt och tar samtidigt ett utökat ansvar för styrningen av energiförsörjningen. Genom olika statliga styrmedel görs satsningar på att möjliggöra diversifiering av olika bränslen för transporter. Staten satsar på elektrifiering av transporter, men också på alternativa drivmedel. Staten utökar även kraven på beredskapslagring av bränsle.

Biodrivmedel används som inblandning i konventionellt bränsle samt som ersättning av dieselbränsle, så kallad drop-in¹³ bränsle. Den största andelen biodrivmedel importeras därifrån det är billigast men samtidigt finns vissa hållbarhetskrav som ska vara uppfyllda. Användningen av fordonsgas ökar, både som naturgas och biogas. Nya terminaler för naturgas byggs på ett flertal ställen i landet.

Energiförsörjning



Under perioden 2025–2035 stimulerar staten en kraftig utbyggnad av storskaliga elproduktionsanläggningar, främst kärnreaktorer, som ska kunna leverera stora mängder el på en stabil nivå under lång tid framöver. Staten startar ett nytt kärnkraftsprogram för att ge den svenska industrin det lyft som leveranssäker energi till lågt pris antas ge. Tre nya reaktorer av generation III står klara till år 2035 och tack vare ökade forskningsanslag till kärnkraft står tre reaktorer av typen generation IV¹⁴ klara till år 2050.

Vattenkraftsägarna moderniserar och underhåller vattenkraften för att möjliggöra en fortsatt hög produktion. Politiker väljer att inte ställa några skarpa krav på miljöanpassning av den reglerbara vattenkraften, som fortsatt får spela en viktig roll för produktion och reglering i elsystemet. Vattenkraftsägarna säljer ofta reglertjänster till övriga EU-länder. När 2050 närmar sig blir klimatförändringarna allt mer tydliga med mer nederbörd och därmed ytterligare ökad vattenkraftsproduktion.

De globala priserna på fossila bränslen fortsätter att variera samtidigt som koldioxidpriset inom EU sakta stiger när industriproduktionen ökar. Priserna ger viss inverkan på användningen av fossilt bränsle i Sverige som minskar med 20 procent från i dag till år 2035.

¹³ Biodrivmedel för hög- eller låginblandning, som till exempel HVO, kan med lätthet fasas in i de etablerade distributionssystemen och fungera i konventionella motorer.

¹⁴ Fjärde generationens kärnkraft avser reaktorer som med hjälp av ny teknik genererar kärnavfall som är radioaktivt mycket kortare tid än dagens kärnavfall samtidigt som den ger betydligt mer energiutbyte från samma mängd kärnbränsle.

Fjärrvärme är generellt ett konkurrenskraftigt alternativ för uppvärmning i tätorter och befintliga system underhålls. Den ökande industrisektorn bidrar med mer spillvärme som tas om hand i vissa fjärrvärmesystem. Importerat och inhemskt avfall är också ett vanligt bränsle vid fjärrvärmeproduktion. Inför att de första nya kärnkraftverken ska etableras inleds en allmän diskussion om kärnkraftens restvärme och ifall den bör användas till fjärrvärme.

Biobränsleanvändningen ökar till år 2035. Detta sker till följd av den växande industrin och en viss ambition att minska Sveriges klimatpåverkan. Industrier använder biobränslen som råvara i produktion och bostäder använder merparten av fasta biobränslen som ved, pellets och flis till uppvärmning.

Drivmedelsbolagen blandar i allt större grad in flytande biobränslen i bensen och diesel. Svenska företag tillverkar biobränslen som sedan exporteras till andra länder, medan andra biobränsleprodukter importeras till bästa möjliga pris på de globala marknaderna.

Utöver elproduktionen från kärnkraft, vattenkraft och kraftvärme bygger vissa privatpersoner och företag egna sol- och vindkraftverk. År 2050 har vindkraften minskat jämfört med i dag på grund av att takten på nedläggningen varit större än utbyggnaden. Solceller förekommer på hustak och integrerat i en del produkter, men elproduktion från solceller har ingen påverkan på elproduktionen i stort. Efterfrågefleksibiliteten, användarnas villighet att anpassa sig till tillgången till el, är generellt låg i detta scenario eftersom tillgången till el är jämn året runt och inga större ekonomiska incitament stimulerar energieffektivisering inom industrin.

Sveriges elkunder får genom den kraftiga utbyggnaden av elproduktion ökad tillgång till el med stabilt pris. El blir en exportvara för Sverige och staten rustar upp överföringskapacitet både mellan regioner i Sverige och mot utlandet. Elexporten har medfört att Svenska kraftnät bygger ut elnätet mot omvärlden, och underhåller och gör reinvesteringar i stamnätet.

Politik och styrmedel



I Forte prioriterar staten den energiintensiva industrins konkurrenskraft, och tillförselperspektivet dominerar energipolitiken. Klimatfrågan är fortfarande aktuell och för att säkerställa tillgång till elektricitet med låga koldioxidutsläpp investerar staten i nya kärnreaktorer för att ersätta dem som faller för åldersstrecket. Kostnaden tas ut av elkunderna, i form av en nyinrättad ”atomprenie”. Industrin är dock inte med och betalar detta.

När det gäller transporter investerar staten i underhåll av järnväg och bygger elvägar för att underlätta godstransporter.

Fastighetsskatten och effektskatten, som bedöms hämma stora nyinvesteringar i kraftverk, avskaffas. Miljöanpassningen av vattenkraften blir mer begränsad. För en mer detaljerad genomgång av styrmedlen, se bilaga [Styrmedel](#), sidan 156.

År 2050 har de svenska energi- och naturresursintensiva industrierna utvecklat effektivare processteknik och förfinat sina produkter, med hopp om att vara fortsatt internationellt konkurrenskraftiga. År 2050 har Sverige ett el- och fjärrvärmesystem som i mycket påminner om det som finns i dag. Den stora förändringen gäller fossila bränslen som stegvis minskat till förmån för el och biobränslen. Energiprodukter handlas på en global marknad och till konkurrenskraftiga priser.

Det svenska elsystemet domineras av stora, centrala produktionsanläggningar, som producerar el på en hög och jämn nivå och som ger ett överskott.

Utblick mot 2050



- Hushållen får ta den högre elkostnaden**

För att prioritera den elintensiva industrin med ett lågt elpris, tas ett högre pris ut av de andra kategorierna av elkunder – främst hushållen. Vilken acceptans finns det för detta, och till vilken grad?
- Klimatarbete går långsamt**

Då Forte inte har något uttalat klimatfokus genomförs klimatåtgärder i den mån de anses lönsamma, vilket gör att klimatförbättringar går långsamt.
- Forskning och innovation går delvis långsamt**

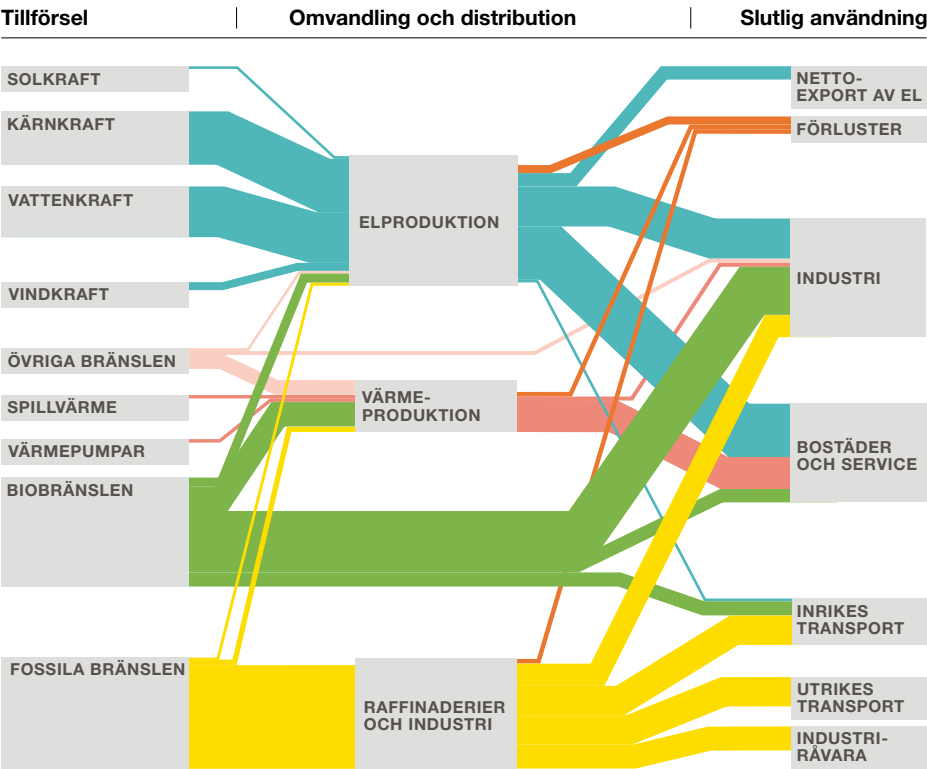
Inom områden som inte ligger inom intressesfären för den energiintensiva industrin, kan satsningar på forskning och innovation vara få eller utebli helt.
- Satsningen på traditionell industri kan vara kortsiktig**

Satsningen på traditionell industri kan vara kortsiktig om själva industrigrenarna till slut inte längre bär sina egna kostnader. Man kan jämföra med de tidigare textil- och varvsindustrierna i Sverige.
- Energieffektivisering inom industrin kan stagnera**

Eftersom den energiintensiva industrin har ett lågt elpris i Sverige så minskar incitamenten för energieffektivisering. Detta innebär att industrin är känslig för stora prisvariationer på energi.

Utmaningar

Energisystemet i Forte 2050



Längs framtidens elvägar

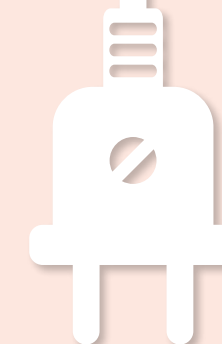
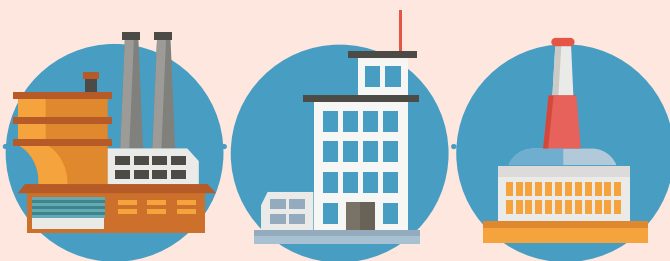
Forte kör långtradare i Västsverige åt Future AB, som är inriktad mot frakt åt kunder inom tillverkningsindustrin. Allt fler företag har de senaste åren skaffat hybridlastbilar med strömvtagare, speciellt efter att det statliga elvägsprogrammet även började elektrifiera vanliga landsvägar. Industrifrakt får dessutom rabatterat abonnemangspris på elvägsnätet. Då kilometerkostnaden bara är en krona, kan det ibland löna sig att ta några omvägar för att få mer elnätsdrift.

Medan Forte lyssnar på det vanliga reklamradioskvalet och låter ratten sköta sig själv, piper det till i telefonen. En ny elvägssträckning har öppnat väster om Vänern, vilket leder till att färddatorn räknar ut en ny rutt som blir billigare än den tidigare planerade. Bilen svänger vänster in på väg 47.

Landskapet susar förbi fönstret. Små industriorter ligger som ett pärlband i den dalsländska idyllen. Det finns många serviceställen längs vägarna, och Forte stannar till vid en mezze-restaurant. Landsbygden här har verkligen börjat leva upp sedan industrin började anställa mer.

Strömvtagaren vid sidan av bilen rengör Forte vant med en trasa, så att kontakten mot vägräckets elskena ska bli ännu bättre på vägen upp mot slutdestinationen Grums.

Vill du höra hur Forte låter? Gå in på energimyndigheten.se/fyraframtider



FORTE



regato

Scenario Legato

– energi är en globalt begränsad resurs



**BETYDER
SAMMANBUNDET**

I Legato ses energi som en globalt begränsad resurs. Det är viktigt med en jämn och rättvis resursfördelning på global nivå. Energipolitikens fokus är på ekologisk hållbarhet och global rättvisa.

Användning
243 TWh
2050

I Legato har frågor kring global rättvisa och långsiktig ekologisk hållbarhet hamnat allt högre upp på den politiska agendan i Sverige, och även i omvärlden. Det börjar etableras en syn på de globala energi- och naturresurserna som gemensamma för världens alla människor. Rika länder anammar synsättet att användningen av begränsade resurser ska vara lika fördelade över klotet. I Sverige väljer många människor att övergå till en enklare livsstil av både miljöskäl och av solidaritet med befolkningen i andra länder. Förändringar i värderingar och den politik som följer med dessa börjar snabbt ge effekt på energisystemet.

Ett antal grundläggande samhällsstrukturer har genomgått en förändring i Legato år 2035. Ekonomin bygger på ett kretsloppssamhälle och använder resurseffektiva affärsmodeller, så kallad cirkulär ekonomi. Som en integrerad del finns tankar om att minimera negativ miljöpåverkan, men även om en fördelningspolitik på global nivå. Förändringar syns på alla nivåer i samhället, bland annat i hur människor organiserar sin vardag. Energianvändningen har minskat kraftigt i byggnader, inom industrin och i transportsystemet, både genom livsstilsförändringar, ändrade affärsmodeller och genom ny energi-besparande teknik. Denna samhällsförändring understöds av tydliga styrmedel inom resurs- och energieffektivisering.

Sveriges elkunder prioriterar flödande energiresurser som sol, vind och vatten. Sverige producerar varje år mer biodrivmedel, bioenergi och förnybar el än vad den inhemska marknaden använder, och satsar därför på export av både el och bränslen. Fossil energi fasas nästan helt ut av klimat- och resursskäl. Även kärnkraften fasas ut, dels eftersom den bygger på ändliga resurser, dels för att befolkningen anser att risker med kärnavfallshanteringen inte är förenlig med ekologisk hållbarhet. Satsningar sker också på både fossil och biogen koldioxidinfångning och -lagring¹⁵. Det ger Sverige möjlighet att kompensera för historiska koldioxidutsläpp och för de fossila koldioxidutsläpp från fossila bränslen och industriella processer där fossila bränslen används som råvara.

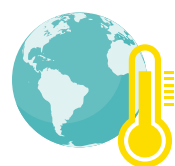


¹⁵ Biogen koldioxid kallas den koldioxid som frigörs vid förbränning av icke-fossila kolväteföreningar, exempelvis i skogsbränslen eller biogas.

HUVUDDRIVKRAFTER



OMVÄRLDSFAKTORER I FOKUS



Global uppvärmning fortsätter



Natur, miljö- och hälsofrågor blir allt viktigare



Fattigdomen minskar och utbildningsnivån ökar

Samhällsplanering



Samhällsplaneringen präglas av ökat fokus på att effektivisera användningen av resurser och att minska miljöpåverkan.

Jämställdhet, trivsel, miljö och hälsa är viktiga aspekter vid planeringen. Fler medborgare är aktiva i medborgardialog kring ny planering av stadsdelar för att anpassa samhället till en majoritet av befolkningen. Kommuner prioriterar en blandning av bostäder, service, skolor och arbetsplatser för att öka tillgängligheten i planeringen.

En förtätning av städerna görs. Gående, cyklister och kollektivtrafikanter är prioriterade målgrupper i stadsplaneringen. Denna utveckling sker på bekostnad av privatbilismen som fått mindre yta i stadsplaneringen. Antalet fordon minskar och även behovet av parkeringsyta, vilket i städerna öppnat för mer markyta för bostäder och annan infrastruktur. En stor del av städernas och tätorternas ytor har fått ändrad användning och gett plats för gång- respektive cykelvägar och bussgator, liksom bostäder, parker och gröna områden i centrala lägen.

Vid byggprojekt finns krav på att genomföra åtgärder som leder till lägre efterfrågan på bilparkering i städer, exempelvis säkerställa bilpool, anlägga cykelparkering med hög standard i fastigheterna, anordna cykelpooler och främja kollektivtrafik. Tidigare problem med trängsel, utsläpp och buller har minskat betydligt.

Handel sker mer lokalt och mötesplatser som främjar socialt umgänge som torg, idrottsplatser och folkotek, de nya folkets hus, upptar allt större del av stadsmiljön.

Landsbygdskommunerna arbetar med en kombination av fysisk planering och beteendepåverkande åtgärder och digitalisering för att främja hållbara transporter och ökad tillgänglighet för lokala servicefunktioner i landsbygd. Att välja det miljöbästa alternativet ska vara lätt.



Livsstil och boende



Allt fler svenskar väljer en mer resurssnål livsstil och frivillig enkelhet blir en stark rörelse. ”Ekologiskt fotavtryck” blir ett flitigt använt begrepp i debatten och Sveriges invånare strävar efter att anpassa sitt fotavtryck till en globalt hållbar nivå. Fler människor går ner i arbetstid, ökar sin självförsörjningsgrad, lånar och byter saker med andra och spenderar mer tid med sin familj, engagerar sig i ideella föreningar, fritidsintressen och samhällsutvecklingen.

Solidaritetsfrågan kopplas tydligt till global ekologisk hållbarhet – negativ klimatpåverkan och försämring av ekosystem och biologisk mångfald är inte längre acceptabelt, särskilt när mänsklighetens beroende av ekosystemtjänster blir allt mer uppenbar med en ökande befolkning. Människor avstår till stor del från längre miljöbelastande resor och konsumtion av varor, inte för att man inte kan resa och handla utan som ett ställningstagande.

Urbaniseringen i Sverige har avstannat och många jobbar alltmer lokalt. IT-lösningar ger möjligheter att distansarbete. Digitalisering och de bredbands-satsningar som staten har tagit ansvar för gör att såväl boende som företagande på landsbygden fungerar väl.

Den totala energianvändningen i bostads- och servicesektorn har minskat dramatiskt till 2035. Lågenergihus, byggnader med mycket låg energianvändning, är den generella normen. Fastighetsägare utrustar ofta hus och byggnader med smarta lösningar för att hantera det egna energibehovet, men även för leverans av överskott till el- och fjärrvärmenät. Miljöpåverkan vid produktion av flerbostadshus byggda i trä är lägre än hus byggda med teknik baserade på stål, betong och cement¹⁶. Under perioden fram till 2035 utvecklas därför tekniken för flerbostadshus i trä både tekniskt och ekonomiskt, vilket leder till att allt fler byggbolag bygger nya flerbostadshus i trä.

¹⁶ C. D. Oliver, N. T. Nassar, B. R. Lippke and J. B. McCarter; Carbon, Fossil Fuel, and Biodiversity Mitigation With Wood and Forests, Journal of Sustainable Forestry, 33:248–275, 2014 och http://www.byggmaterialindustrierna.se/wp-content/uploads/2015/02/Byggandets-klimatp%C3%A5verkan_sammanfattning_20150130.pdf

Renoveringsstrategin¹⁷ för befintlig bebyggelse som infördes före 2020, har lett till skärpta krav vid renovering och starka finansiella incitament för fastighetsägarna har införts. Renoveringsstrategin inkluderar isolering, effektiv ventilation, snålspolande vattenarmaturer, effektiv belysning (LED och närvarostyrning) och införande av olika slags värmepumpar.

Industri



I Legato ser Sveriges befolkning energi- och naturresurser som globalt gemensamma. Det finns ett starkt fokus på cirkulär ekonomi inom industrin.

Hållbarhet och effektiv energi- och råvaruanvändning är därför prioriterat. Industrin genomgår stora omstruktureringar och styrs alltmer mot ett ökat kretsloppstänk där den minskar användningen av råvaror och minskar uppkomsten av avfall. Det underlättas genom ett ökat klusterbyggande för att maximera energi- och råvarusamarbeten mellan olika industrier.

Den energiintensiva industrin i Sverige och den industriproduktion som har stor miljöpåverkan genomgår stora förändringar. Staten inför skärpta krav på energikartläggning och energieffektivisering vilket bidrar till att industrierna genomför systematisk energieffektivisering av processer och övrig energi-användning i industrilokaler och byggnader.

Stora satsningar på forskning och innovation, samt statliga stöd till en omställning medför att kemi-, plast- och raffinaderiindustrin kopplas närmare samman med skogsindustrin samt massa- och pappersindustrin. Biokluster som producerar flera olika biobaserade¹⁸ varor som el, värme, drivmedel, kemikalier, plaster och textil bildas. Även jordbruket kopplas till dessa kluster för att effektivisera produktionen av hållbara livsmedel.

Fossila råvaror har inom den nya bioindustrin helt fasats ut till 2035 och ersatts av biobaserade råvaror, och fossila bränslen ersatts av el eller biobränslen. Vid en konvertering från fossila bränslen eller råvaror till biobränslen eller el krävs en ökad energianvändning. Trots detta minskar energianvändningen inom bioindustrin tack vare energieffektiva processer och produktionsplanering. Bioindustrin ökar kraftigt och blir en av de viktigaste industrigrenarna i Sverige.

Bioklusterverksamheten utnyttjar biprodukter allt bättre och infångning och lagring av biogena koldioxidutsläpp¹⁹ innebär att industrierna samtidigt kan få negativa utsläpp²⁰. Olika typer av regelverk och infrastruktur för koldioxid-lagring utvecklas. Även inom övriga branscher sker viss klusterbildning, som utnyttjar restflöden från närliggande industrier. Restvärme från industrier återanvänds i egna processer eller matas in i fjärrvärmenätet. Industrin har ett starkt fokus på samverkan vilket också leder till resurseffektiv samverkan globalt, i alla processer från upptag av råmaterial, genom alla förädlings-processer fram till slutleverans av produkten till kund.

Nationella styrmedel gällande utsläpp är långtgående. Den malmbaserade stålproduktionen fasas ut helt på grund av hård internationell konkurrens och tuffa krav. Returstålsbaserad stålproduktion finns kvar.

Cementindustrin har helt slutat att använda fossila bränslen i sin tillverkning och den del av cementindustrin som inte har kunnat ställa om sin produktion fasas ut. En global efterfrågan på järnmalmsprodukter²¹ innebär att gruvindustrin finns kvar och i första hand säljer produkter på export.

¹⁷ www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2015/forslag-till-utvecklad-nationell-strategi-for-energieffektiviserande-renovering.pdf

¹⁸ Biobaserade produkter ska komma helt eller delvis från biomassa, exempelvis från plantor, träd eller djur och kan ha genomgått fysiska, kemiska eller biologiska behandlingar.

¹⁹ På pappersbruken och inom sjöfart har anläggningar för infångning och lagring av koldioxid, CCS, införts.

²⁰ Negativa utsläpp innebär att man fångar in biogen koldioxid och kan räkna det som minusutsläpp.

²¹ Järnmalmspellets, fines (järnmalmspulver) och järnsvamp.



Transport



Efterfrågan på persontransporter har minskat dels på grund av transportsnål samhällsplanering och minskat antal industri-transporter, dels genom att samhällets värderingar om att en hållbar och mindre resurskrävande livsstil uppfylls genom färre transporter.

Sveriges fem största städer har med stöd av befolkningen infört förbud mot privatbilism i stadskärnan. Städerna har i stället satsat på fler uppvärmda och belysta gångbanor och cykelbanor, och utökat kollektivtrafiken.

Det fossilfria transportsystemet drivs med el och biodrivmedel. Flottan av personfordon är en blandning av rena elbilar, laddhybrider och fordon som körs på biodrivmedel. Bussar i stadstrafik drivs enbart med el. De fordon som har förbränningsmotor är till övervägande del laddhybrider. Även arbetsmaskiner körs till stor del på el.

Mer än två tredjedelar av resorna som är kortare än tio kilometer i stadstrafik sker med cykel. Cykelbanorna har fler filer, en snabbfil och en normal-tempofil. Tunnlar som tidigare använts till bilar i storstäder har gjorts om till cykelvägar för att underlätta för cykelpendling året om. På marknaden finns en uppsjö av cykeltyper, som elassisterad cykel och lådcykel, för att underlätta för fler att cykelpendla.

Att äga en bil blir allt mindre vanligt; fler ingår i en bilpool, väljer hyrbil eller taxi. Alla personfordon har krav på nollutsläpp. De bilar som är i trafik cirkulerar mer än hälften av dygnets timmar, genom att de används av flera personer och för olika ändamål.

Persontransporter på landsbygden sker digitalt samordnat via en ny typ av kollektivtrafik med fordon som är storleksanpassad efter antal resenärer. Resan beställs digitalt. Denna nya delning av resor har minskat bilberoendet även på landsbygden. Då de totala volymerna drivmedel som distribueras är avsevärt mindre än i dag är det svårt att distribuera drivmedel till landsbygd som ligger långt från infrastruktur. Elfordon med lång räckvidd är därför huvudalternativet i glesbygd.

Fossila bränslen har avvecklats sedan början av 2030-talet. Bara förnybara drivmedel finns tillgängliga vid tankställen, både nya former av biodrivmedel och förnybara varianter av diesel och bensin, vilket möjliggör användning av äldre fordon som producerats för fossilfria drivmedel. Det gäller både vägtrafik, jordbruksmaskiner och arbetsmaskiner. Biodrivmedlen används ofta i laddbara hybridfordon- och maskiner.

Det är lägre aktivitet inom industrisektorn vilket innebär att även efterfrågan på godstransporter sjunker. Staten gör inga nya stora satsningar på infrastruktur på vare sig väg- eller järnvägssidan men underhåller befintlig infrastruktur. De nysatsningar som görs är inriktade på att främja gång- och cykeltrafik och att underlätta för kollektivtrafik. Andra satsningar görs på smidiga och flexibla byten mellan trafikslag för att främja bland annat sjöfart. Inrikesflyget finns kvar på enstaka långa sträckor (Stockholm–Luleå), men har i stor utsträckning ersatts av tåg. Flyget kör på biodrivmedel.

Elektrifiering inom Legato innebär till stor del elanvändning i batterifordon av olika slag. Det blir viktigt att använda batterier på ett sätt som gör att det blir så hög fossilbränslebesparing som möjligt per kilo batteri, eftersom råvaran till batterier är ändlig. Dessutom måste återvinningen av batterier vara effektiv. Elektrifiering blir mycket intressant i bussar på grund av stora satsningar på kollektivtrafik. Laddhybrider är betydligt mer använda än rena elfordon. Kommunerna inrättar infrastruktur för laddning av elfordon på strategiska platser, bland annat vid städernas resecentrum, så att medborgarna enkelt ska kunna ladda sina poolbilar och byta transportslag till det mest energi-effektiva resesättet.

MÅNGA OLIKA DRIVMEDEL I LEGATOFRAMTIDEN

För att möjliggöra att hela fordonsflottan snabbt ställs om till förnybar energi gynnar staten användning av flera typer av biodrivmedel. Storskaliga anläggningar för produktion av drivmedel från skogsråvara producerar huvuddelen av biodrivmedlen. Både cellulosabaserad etanol och biodrivmedel som tillverkas genom biomassafergasning produceras i stor skala i Sverige. Drivmedelsanläggningarna är på olika sätt integrerade med annan industri.

För att även de fordon och maskiner som av olika skäl inte tillräckligt snabbt kan ställas om till nya typer av biodrivmedel ska kunna använda förnybar energi gynnar staten utveckling av biodrivmedel som är identiska med fossilbensin och diesel. Drivmedelsbolagen framställer HVO²² från olika typer av restprodukter i kombination med förnybar bensin och diesel från lignin. Ligninet kommer främst från massabrukslutar men även lignin som är en restprodukt från cellulosabaserad etanolproduktion används.

Sverige importerar en viss mängd biodrivmedel, men efter 2035 ökar andelen elfordon vilket minskar behovet av import väsentligt. Under perioden fram till 2035 säljs i princip alla biodrivmedel som tillverkas i Sverige på den svenska marknaden. Under perioden 2035–2050 så hinner fler fordon bytas ut mot rena elfordon. Det innebär att andelen el av den tillförda energin till transporter ökar vilket ger större utrymme för att exportera biodrivmedel.

²² HVO – Hydrogenated Vegetable Oil , vegetabiliska oljor eller animaliska fetter som har vätebehandlats för att bli ett drivmedel som kan ersätta diesel.

Energiförsörjning



Staten beslutar att förlänga elcertifikatsystemet för att möjliggöra en resurseffektiv utbyggnad av förnybar energi. Allmänheten ser det som viktigt att internationellt kunna bidra till export av el med låga klimatutsläpp och att vi delar med oss av resurser som finns i vårt land. För att minska klimatpåverkan så mycket som möjligt, och för att gynna export, görs stora satsningar på energieffektivisering. Energibolagen satsar på stor utbyggnad av landbaserad vindkraft. Närmare 2050 byggs även lite vågkraft, och där det är lönsamt, havsbaserad vindkraft. Medborgarna stödjer också omställningen genom att själva investera i solceller som minskar deras eget behov av el från elnätet och därmed ökar möjligheter för export.

Som en konsekvens av låga elpriser och minskat elbehov blir kärnkraften olönsam. Opinionen driver på för att den ska läggas ned helt eftersom uran är en ändlig naturresurs och hanteringen av kärnavfallet anses inte vara ekologiskt hållbar. Staten och energibolagen samarbetar om att ta fram ett utfasningsprogram där en reaktor stängs vartannat år från 2025 till och med 2035, då alla reaktorer fasats ut. Energibolagen riktar om sina insatser mot förnybar elproduktion och nya energitjänster som lager och att hålla elsystemet fungerande, vilket ger nya typer av intäkter. Nya aktörer med mer långsiktiga ekonomiska mål, som exempelvis pensionsfonder, tar mer plats i energibranschen för att ta aktivt ansvar för sitt hållbarhetsarbete i kombination med att de vill säkra framtida inkomster.



Priserna på elmarknaden blir med åren allt mer varierade från timmar då det blåser mycket till timmar då det blåser lite, vilket öppnar för nya tjänster och investeringar, bland annat i form av energilager. Statens satsningar på forskning och demonstration av centrala lagerlösningar medför att batterier på elnätsnivå, pumpvattenkraftverk och lager i kombination med vindkraftsparker blir allt vanligare. Användarna kan genom digitala tjänster anpassa användningen av el. Elleveranser sker i regel utan avbrott. Elanvändare har i stor utsträckning blivit flexibla för de få timmar elproduktion och import inte räcker till, efterfrågefleksibiliteten är hög. Elkunder har genom olika avtal eller ett frivilligt register anmält att de tillåter nätägarna att minska leveranser till dem eller helt koppla bort dem ett fåtal timmar från elnätet.

Elnätsbolagen förstärker elnäten på både lokal, regional och nationell nivå för att möjliggöra en stor utbyggnad av vind- och solkraft. Även överföringskapaciteten mot omgivande länder förstärks där det är lönsamt för att möjliggöra export av förnybar el. Mer mätning och fjärrstyrning i elnätet gör att maxlasten kan sänkas och därför kan nya ledningar byggas med mindre dimension än tidigare. Detta leder till ett resurssnålare elsystem. Staten satsar på att utveckla den inhemska bioenergi- och biodrivmedelsproduktionen för att kunna exportera till andra länder som ett sätt att snabbt minska deras användning av fossila bränslen.

För att minska klimatutsläppen gör staten stora satsningar på att fasa ut fossila bränslen. Den fossila energi som fortfarande används är inom gruvindustrin, viss avfallsförbränning och utrikestransporter.

I början av 2030-talet testas koldioxidinfångning och -lagring (CCS) av biogen koldioxid²³ i ett forskningsprojekt för första gången i Sverige. Bio-CCS börjar därefter användas i liten skala vid förbränning av biobränslen i industrin eller på större fartyg, för att betala tillbaka för de historiska koldioxidutsläppen i Sverige. Småskalig användning av biobränsle för uppvärmning, som ved och pellets, kompletteras med solvärmesystem för att minska åtgången av bränsle. Den svenska skogen är också en viktig koldioxidsänka, och uttag och skötsel får en allt större hållbarhetsprägel under åren upp mot 2050.

²³ Bio-CCS.

ENERGIEFFEKTIVISERING GER FLERVÄRDEN

Ökad energieffektivisering är tillsammans med en ökning av andelen förnybar energi en grundpelare i EU:s plan för att ställa om till ett förnybart energisystem i hela Europa. Mål satta till 2030²⁴ talar om en minskning av energitillförseln med drygt en fjärdedel tack vare styrmedel som bland annat ställer minimikrav på energieffektivitet hos byggnader, liksom på olika apparater som vitvaror, hemelektronik och belysning. Andra styrmedel som utsläppsrätter och koldioxidskatter bidrar också till energieffektivisering. Om energieffektivisering ska göras långtgående som i Legato är det viktigt att lyfta fram alla nyttor som energieffektivisering kan leda till.

Två rapporter från IEA²⁵ visar att den samhällsekonomiska vinsten många gånger överträffar kostnadsbesparingen om man tar hänsyn till alla flervärden som energieffektivisering ger, se figuren på nästa sida.

Minskade utsläpp av klimatgaser och minskad sårbarhet orsakad av import av bränslen från regioner utanför EU är två uppenbara exempel på flervärden av energieffektivisering på övergripande nivå.

Ett tydligt exempel är belysning, där krav som accelererat utveckling av nya, effektiva och smarta belysningslösningar baserade på LED-teknik lett till att både etablerade och nya belysningsföretag utvecklat produkter med bättre prestanda och fallande priser i en takt som överträffat alla prognoser hittills²⁶.

Potentiella mervärden – eller flervärden – som energieffektivisering kan medföra²⁷



²⁴ <http://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-strategy/2030-energy-strategy>

²⁵ "Capturing the Multiple Benefits of Energy Efficiency", IEA, 2014, samt "Achievements of appliance energy efficiency standards and labelling programs. A global assessment", IEA 4E 2015, se <http://www.iea-4e.org/>

²⁶ Se till exempel <http://www.eceee.org/all-news/press/2014/rapid-development-LED-lamps>

²⁷ Från "Capturing the Multiple Benefits of Energy Efficiency" IEA, 2014.

Politik och styrmedel



I Legatos Sverige finns starka klimat- och energistyrmedel som påverkar industrin mot en mer resurseffektiv verksamhet, vilket bland annat gynnat bildningen av industrikuster med hög resurseffektivitet.

Koldioxidskatten är central och sätts årligen utifrån den nivå som bedöms nödvändig för att klara målet att Sverige ska vara fossilfritt till 2035.

Koldioxidskatten baseras på bränslenas klimatpåverkan över en livscykel, vilket innebär att även biobränslen som inte utnyttjar bio-CCS koldioxid-beskattas, om än på en lägre nivå än fossila bränslen. Det höga priset på koldioxid ger goda förutsättningar för mer mogna förnybara tekniker att konkurrera utan särskilt stöd. För en mer detaljerad genomgång av styrmedlen, se bilaga [Styrmedel](#), sidan 156.

År 2050 används energieffektiv teknik i stor skala och en förändrad livsstil har minskat energianvändning och resursbehov i Sverige. Industrin har gjort stora omstruktureringar och Sverige har en stor export av förnybar el och biodrivmedel. Kollektiva och individuella, små- och storskaliga samt tekniska och beteendeorienterade energilösningar kombineras och används i stor skala.

År 2050 har Sverige en energimix som till stora delar bygger på flödande energikällor och bioenergi. Samhället har redan stor erfarenhet av att vara både nästan fossilfritt och till stor del förnybart. Tryggheten i energisystemen bygger på väl fungerande energimarknader med stort utbud, hög flexibilitet och god beredskap för att hantera konsekvenser av eventuella störningar.

Utblick mot 2050

Risk för stagnation inom teknisk utveckling

Eftersom samhällets förändringar till stor del är beteendedrivna, finns risk för stagnation inom utvecklingen av resurseffektiviserande tekniker.

Säkra forskningen för omställning till bioekonomi

Staten kommer att behöva satsa stora summor på forskning, utveckling och demonstrationer för att ställa om industrin till att bli biobaserad. Även forskning och utveckling inom elnätsfrågor är viktig för Legatos möjlighet att säkra efterfrågefleksibiliteten.

Stor efterfrågefleksibilitet är viktigt

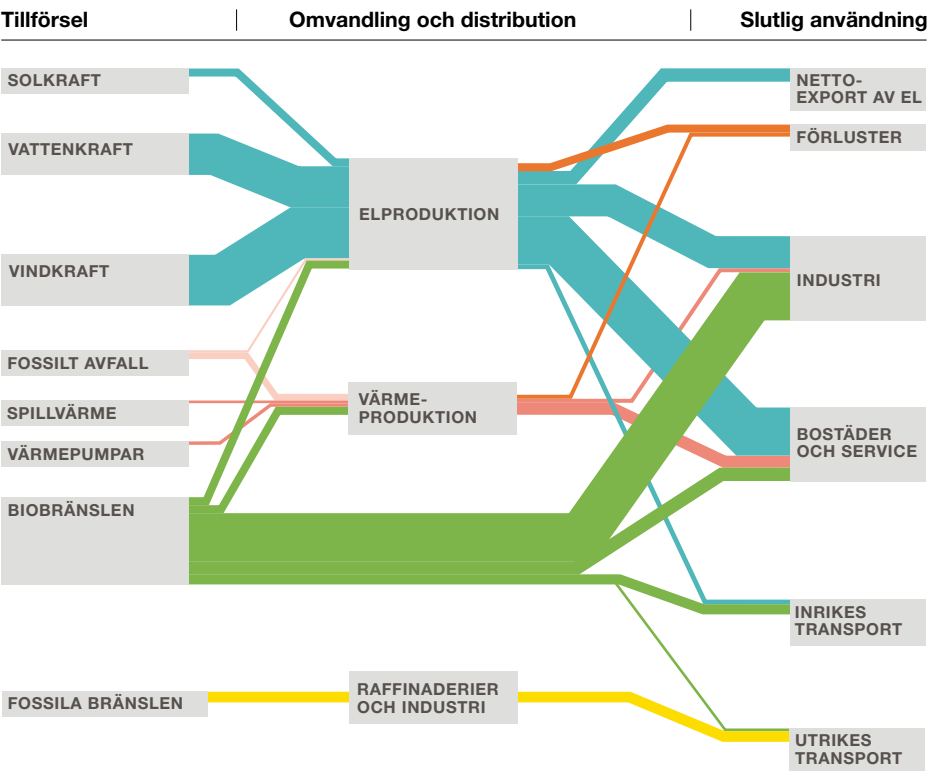
Speciellt under vintern kommer systemet med en stor andel variabel elproduktion (sol och vind) att kräva stor flexibilitet i elanvändandet – en flexibilitet som inte finns i dag.

Ändrad intäktsmodell för statskassan kan krävas

Om delar av skatteintäkten baseras på miljöpåverkan, minskar denna intäkt ju mer miljövänligt samhället blir. Om en stor andel av befolkningen även börjar konsumera betydligt mindre varor och i stället mer tjänster, måste staten ändra sin intäktsmodell för att kunna upprätthålla den välfärdsstat som finns i dag.

Utmaningar

Energisystemet i Legato 2050



Legatos lösningar för variabilitet och effekt

Legato jobbar som drifttekniker på ett av de största nätbolagen i södra Sverige. Legato sitter i ett kontrollrum och framför sig har hen ett gäng med skärmar. På en av skärmarna kan man se, precis som genom fönstret, att det är en solig och blåsig vårdag. Vindkraften står för 52 procent av elproduktionen och solkraften för 10 procent. Exporten ut från Sverige är också hög. På skärmen bredvid syns en karta över elnätet där flera ledningar är markerade med en mörk orange.

– De här färgerna indikerar att vi ligger nära maxlasten för ledningarna i det här området, och just nu så släpper dessa fyra vindkraftparker förbi en del av vinden för att inte överlasta nätet, berättar Legato. Den här siffran visar hur mycket varje park har spilt totalt under året, det brukar oftast bara bli någon procent och ofta en försumbar intäkt för ägaren.

Att spilla resurser är den sista utvägen vid höga produktionstoppar. Flera av de stora svenska sol- och vindkraftsparkerna har installerat stora batterier vid sina anläggningar för att spara energi så att de kan sälja den senare när priset gått upp. Det finns även pumpvattenkraftverk i flera av älvarna i norra Sverige som utnyttjar det låga priset i timmar som denna för att pumpa vattnet högre upp i älven igen.

Men hur hanteras situationen på vintern när inte solen skiner och vinden kanske inte blåser?

– Behovet av eleffekt för att värma upp hus vintertid har minskat med den energi-effektivisering som gjorts, berättar Legato. Men visst finns det dagar som är mer kritiska. Generellt blåser det mycket under vintern och vi ser då till att lagra överskottsenergi. Förutom producenterna så äger även staten flera stora lager utplacerade i nätet. Tillsammans med import och kundernas hjälp brukar det lösa sig, men i sista hand har vi en lista på elkunder som har köpt ett elabonnemang där de ger oss tillstånd att koppla bort dem helt under 24 timmar.



Legato själv har just tittat på sin mobil vars färg indikerar om energi är en bristvara just nu eller inte. I sin energi-app, dit all energikrävande utrustning i hemmet är uppkopplad, har Legato gjort en prioritetsordning. Den minst prioriterade produkten är först att kopplas från nätet när det är energibrist.

Legato berättar att en morgon när appen är röd hoppar hen över att värma varmvatten utan gör det i stället när appen indikerar god tillgång till el. Det finns många konsumentprodukter som hjälper konsumenterna att använda mindre el och energi, speciellt vid situationer med begränsade resurser. Men sker all reglering manuellt, undrar jag?

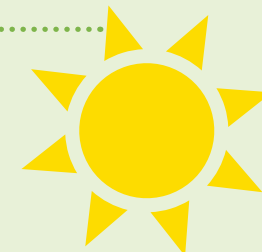
– Nej absolut inte, svarar Legato. Det är bara en del i balanseringen av systemet. Vi har också stora mängder automatiska resurser i vattenkraften, batterilager men även hemma hos konsumenter. Sedan 2025 är det lag på att alla nya vitvaror och värmepumpar styr mot frekvensen i nätet inom ett komfortintervall. Just nu har jag 800 MW reglerresurser hos mina kunder som hjälper till att hålla systemet stabilt.

Legato pekar på en skärm. En signal ljuder och alla i rummet tittar mot en skärm med blinkande ram. Frekvensen sjunker först men hämtar sig snabbt och efter ett par sekunder slutar skärmen att blinka. Vad var det som hände undrade jag?

– En av våra nätstationer har fått kortslutning, vilket gjorde att en stor ledning kopplades bort. Men systemet fick automatiskt det stöd det behövde.

Det var en kombination av vattenkraft, batterier och vindkraft som blixtnabbt matade in mer effekt på nätet, vilket stabiliserade läget och bidrog till att undvika en större störning.

Vill du höra hur Legato låter? Gå in på energimyndigheten.se/fyraframtider





ESSES

Scenario Espresso

– energi är ett uttrycksmedel

ESPRESSIVO

I Espresso är energi ett uttrycksmedel. Energianvändare önskar hantera sina egna behov genom inköp av tjänster och ökad egenproduktion, lösningar som de uppfattar som effektiva och framåtsiktande. Energipolitiken riktar fokus mot att underlätta för egenproduktion, handel med tjänster och nya energimarknader.

BETYDER
UTTRYCKSFULLT

Användning
323 TWh
2050

I Espresso sker en utveckling som gör att energisystemet och samhället organiseras i mindre enheter. Decentralisering och individens frihet är allt viktigare ideal i den politiska diskussionen. Det politiska klimatet rör sig bort från centralstyrning, storskaliga lösningar och idén om ett homogent ”folkhem”, till ett större fokus på mångfald och individuella lösningar, med konsumenten i centrum. Staten fokuserar på att underlätta människors individuella lösningar oavsett var de bor. Många vill manifestera och synliggöra sitt oberoende, till exempel genom lokal elproduktion som egen solex samt energieffektiva lösningar i hem och lokaler. Fokus ligger också på frågor nära den enskilda människan, som hälsa och lokala miljövärden.

Hos befolkningen finns en allt starkare strävan efter oberoende och självbestämmande. Därför har vilja till självförsörjning ökat. Egen produktion av energi med integrerade, klimatsmarta energilösningar i hemmet signalerar modernitet till omgivningen. Som en följd av dessa förändringar tar politiker beslut som stärker konsumenternas ställning på energimarknaden och som ger de mindre energianvändarna en mer framträdande roll att utforma energisystemet.

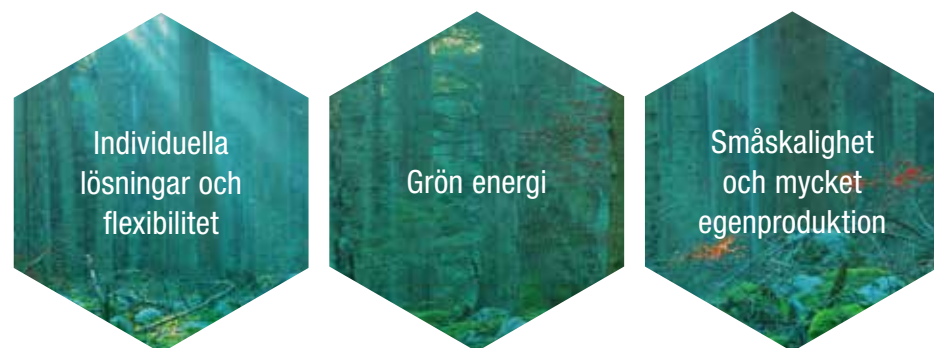
Det sker allt oftare privata investeringar i infrastruktur, el- och värmeproduktion samt forsknings- och innovationsprojekt genom allmän sponsring och insamling²⁸ av pengar. När privatpersoner efterfrågar nya varor eller tjänster tar det kort tid för initiering och finansiering av projekt. I Espresso är det lätt att starta nya företag och projekt. Närboende och lokala grupper får också större talan vid exempelvis etableringar av energi- och industrianläggningar och vid stora infrastrukturprojekt.

Politikerna fattar tidigt flera beslut som förenklar en decentralisering av energisystemet. Privatpersoner och företag kan på ett enkelt och förmånligt sätt leverera egenproducerad el eller värme till el- och fjärrvärmenät. Byggnader i städer utnyttjar plats- och verksamhetsspecifika förutsättningar för att producera värme/kyla när det är som mest ekonomiskt fördelaktigt och köper detta utifrån i övriga fall.



²⁸ Så kallad crowdsourcing och crowdfunding.

HUVUDDRIVKRAFTER



OMVÄRLDSFAKTORER I FOKUS



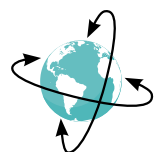
Natur, miljö- och hälsofrågor blir allt viktigare



Teknisk utveckling fortsätter i snabb takt



Digitalisering utvecklar helt nya tjänster



Globalisering länkar ihop länder på nya sätt

Samhällsplanering



Samhället utvecklas på ett sådant sätt att medborgarna har större möjlighet att påverka utformning av boendemiljö samt transport- och energilösningar. Staten understödjer individualiseringen och låter lokala intressen i mångt och mycket stå över riksintressen. Även om det sker en process av att industrier och samhällen organiserar sig i mer småskaliga och decentraliserade enheter finns fortfarande stora städer och industricentra kvar. Städer utvecklas med en kombination av förtätning av vissa stadsmiljöer och en utglesning av andra stadsmiljöer, beroende på hur aktiva medborgarna och/eller företagen är i just det området.

Samhällsplaneringen är flexibel och sätter endast de administrativa ramarna för det självorganiserade samhället. Nya innovativa företag har etablerat sig på marknaden och erbjuder bland annat tjänster för hemkörning av varor eller samåkning utifrån olika målgruppers behov. Den lokala handeln erbjuder mer av visningsrum och tjänster medan varorna beställs på nätet och levereras direkt hem. Lokaler för handel och verksamheter kan enkelt omvandlas till bostäder och vice versa vilket också innebär att rörelsemönster i staden/tätorten ändras i snabb takt.

Allt fler har intresserat sig för en form av stads- och bostadsutveckling där enskilda individer och familjer går samman för att planera, bygga och senare bo i ett hus som utformas efter deras egna uppfattningar och idéer om sitt boende. Det har inneburit att den traditionella rollfördelningen i byggprocessen har ändrats och gjort sammanslutningar av människor till byggherrar. Det innebär för de individer som har möjlighet att ingå i en sådan byggemenskap, en större frihet att få ett boende anpassat efter de egna villkoren och behoven.

Livsstil och boende



Många vill producera sin egen energi. Samtidigt blir lokala grupper och konsumentföreningar mer aktiva och får mer att säga till om. Möjligheter till att bli oberoende av större aktörer ökar, till exempel då en bostadsrättsförening investerar i egen elproduktion. Till det ökande antalet prosumenter²⁹ erbjuder elbolagen energieffektiviseringstjänster och lösningar med smarta nät.

Nybyggnation är ofta i form av lågenergihus³⁰, som använder minimalt med energi och som standard monterar solceller på en viss procent av takets yta. Boendets utformning och organisation blir allt viktigare och människor blir mer aktiva i detta, bland annat genom ökad energieffektivitet, smarta system och lokal el- och värmeproduktion.

Det finns ingen övergripande strategi för energieffektivisering av befintliga byggnader, men detta sker ändå i relativt hög grad tack vare tjänster som elbolagen erbjuder sina kunder, gärna i kombination med hyrlösningar för solvärme- och solcellspaket. Detta minskar behovet av tillförsel av energi via det nationella elnätet. Energieffektivisering av det byggnadsbestånd som fanns 2016 har skett i så hög grad att det kompenserar för ökningen av den tillkomna nybyggda ytan. Det svenska bostadsbeståndet använder alltså inte mer energi år 2035 än 2016, trots att bostäderna blivit många fler. Effektivare byggnader i framför allt flerbostadshus och lokaler har även gjort att efterfrågan på fjärrvärme har minskat.

Förvärvsarbete fungerar på liknande sätt som i dag men många kombinerar en mindre grad av förvärvsarbete med annan verksamhet som till exempel matproduktion, eller odlande av energigrödor. Det finns en stark drivkraft till egen och lokal produktion och det blir vanligare att vara mångsysslare.

Hälsomedvetenheten har ökat och sätter press på politikerna; den lokala opinionen försvårar för förorenande anläggningar eller aktiviteter i närheten av bostäder. Vindkraft till havs prioriteras framför större landbaserad av flera skäl, främst estetiska. Det förekommer att industrier och andra grupperingar investerar i egen vindkraft på egen mark.

²⁹ En prosument är en person som sett över året fungerar som både producent och konsument, av el, värme eller bränsle.
³⁰ Hus med mycket låga energiförluster, nära noll förluster.

Användningen av fossila bränslen sker främst i arbetsmaskiner i servicesektorn men är relativt låg i bostäder och lokaler. Fram till 2035 har den fossila användningen minskat något, dels som följd av att den sista oljan för uppvärmning i bostäderna försvunnit, dels för att en liten del fossila bränslen i service-sektorn byts ut mot biobränslen. Den lilla andelen fossila bränslen som finns kvar i bostäder 2035 är naturgas.

Energianvändningen fortsätter att minska till 2050 och fossila bränslen i servicesektorn är nu också helt utfasade och ersatta med biodrivmedel. Elanvändningen har fortsatt att öka något som följd av fortsatt ökad användning av värmepumpar och spets-el³¹ för uppvärmning i lågenergihus. Fjärrvärmens har minskat ytterligare något men utgör en fortsatt viktig bas för uppvärmning.

Industri



I Espresso rör sig samhället mot ett större fokus på individuella lösningar och att underlätta för människor oavsett var de bor. Industrins produkter blir alltmer specialiserade och förmågan att på ett flexibelt sätt anpassa produkter till olika kundbehov blir allt mer betydande för industriens konkurrenskraft. Med hjälp av 3D-skrivare kan människor själva skriva ut egendesignade och inköpta produkter.

Eftersom en del efterfrågar resurseffektiva lösningar, svarar vissa företag inom såväl produktions- som finanssektor tydligt på detta och stärker på så vis sitt varumärke i förhållande till dessa kunder. En del företag erbjuder anpassade produkter för de kunder som prioriterar resurseffektivitet och är beredda att betala för dem, i andra fall anpassas hela sortimentet. Småföretagandet sprudlar i Espresso, och marknader skapas och förnyas alltefter efterfrågan av nya lösningar och tjänster ökar.

³¹ El som behövs för uppvärmning de dagar det är som kallast.



Eftersom utvecklingen i hög grad drivs på av efterfrågan från kunder är det framför allt företag som erbjuder konsumentnära produkter och tjänster som väljer en miljömedveten profil. Detta gäller särskilt elektronik, som i hög grad importeras. Det finns en stark entreprenörsanda inom området. En mängd mindre, nystartade företag som erbjuder produkter anpassade för resurseffektivitet och exempelvis egen elproduktion växer fram. Energiintensiv, råvaruutvinnande och råvaruförädlingsindustri påverkas i lägre grad av utvecklingen. Forskning och innovationsprojekt finansieras till stor del genom privata investeringar, vilket kan påverka teknikutvecklingstakten för den traditionella industrin.

Även om vissa produkter och industrier utvecklas mot ökad resurseffektivitet i detta scenario, bedöms den svenska industrins totala energianvändning förbli relativt oförändrad jämfört med i dag.

Transport



I Espresso finns ett stort spann av olika transporter med varierande komfort, teknik och snabbhet. Pengar, tid och miljö- och teknikintresse styr vilket transportsätt Espresso-personen väljer.

Företagen fortsätter i samarbete med privatpersoner att utveckla e-handel och smarta samåkningstjänster för att underlätta för medborgarna. Ännu bättre tillgång till bredband och större möjlighet till distansarbete har redan under tidigare decennier minskat arbetspendlingen, däremot sker ett ökat resande till nöjen och fritidsaktiviteter.

Möjligheten att använda enskilda transportfordon som bil, biobränsle drivena flygfordon och eldrivna mini-fordon fortsätter att vara viktig. I städerna är tjänsteleverantörer som hämtar dig vid dörren populära i stället för egen bil eller traditionell kollektivtrafik. Persontrafiken blir mer dynamisk och varierad. Den som vill åka i egen kupé och arbeta eller använda sin tid till annat än att köra, beställer en självkörande taxi till sin dörr. Företag erbjuder även sina anställda egna kollektiva transportlösningar. Snabbcykeln har fått ett ökat utrymme, att cykla snabbt är ett uttryckssätt och nya snabbcykelbanor har kommit till stånd i de större städerna. Kollektivtrafiken byggs ut inom och mellan stora städer.

Elfordon är ett vanligt val i glesbygd eftersom den småskaliga elproduktionen möjliggör laddning av det egna elfordonet – eller så låter man grannen ladda sitt fordon mot ersättning. Att ladda sitt fordonsbatteri med egenproducerad el, blir ett sätt att lagra sin egen elproduktion, en ny form av balanstjänst. På landsbygden har en ny typ av storleksanpassad kollektivtrafik införts, som kommer på beställning och som både kan lämna varor och hämta personer.

Energiförsörjning



Hur energi tillförs i Espresso drivs främst utifrån ett konsumenten-i-centrum-perspektiv, ofta med individuella lösningar och självförsörjning i fokus. Även bekvämlighet, baserat på kundens preferenser, är viktigt. Vissa vill gärna köpa olika energitjänster som miljömärkt el, budget-el med låg leveranssäkerhet eller den mängd energi som ger ett visst inomhusklimat, hellre än att skapa en egen lösning. Miljö och kostnader prioriteras också i Espresso, men mer sekundärt. Smarta och billiga sätt att bli självförsörjande drivs inte centralt via styrmedel utan provas av individuella och samfälliga hushåll och av industrier. Människor sprider gärna sina erfarenheter via digitala medier och tjänster, vilket bidrar till att öka takten för innovation och utveckling av lösningar.

Ett första steg i självförsörjningen av el sker med solceller i bostads- och service-sektorn, där överskott av el kan säljas till nätet. I till exempel villaföreningar och bostadsrätter spelar även småskalig vindkraft en viss roll. På sikt blir det också allt vanligare med batterier för att under delar av året kunna vara oberoende av elnätet. Närmare år 2050 kombineras solceller med säsongslager i form av omvandling av till exempel el till gas³². Gasen kan sedan användas som drivmedel. Annan elproduktion, som småskalig vattenkraft, biobaserad kraftvärme eller bränsleceller förekommer också. En omfattande utveckling av hemelektronik-produkter har möjliggjort ett större oberoende av elnätet då kunder kan anpassa och optimera sin elanvändning.

³² Power to gas (P2G) omvandlar el till gasformigt biodrivmedel till fordon. P2G är en systemlösning som knyter samman behovet av att storskaligt kunna lagra el med behovet av att få fram mer förnybara drivmedel.
www.swedegas.se/smarta_energisystem/Power%20to%20Gas/Power%20to%20Gas%20till%20Sverige

Fler konsumenter producerar sin egen värme, och allt fler säljer restvärme från bostäder, lokaler och industri till fjärrvärmenätet. I takt med mer lokala energilösningar och minskat kundunderlag för stora fjärrvärmeproducenter går handeln av värme över till något mellan hushåll och andra kunder snarare än mellan den centrala fjärrvärmeleverantören och värmeanvändaren. Detta i kombination med energieffektivisering, minskar intresset för att investera i att investera i nya större kraftvärmeverk. Många mindre städer saknar värme- och kraftvärmeverk och mot år 2050 är flera fjärrvärmesystem helt drivna av små privata aktörer. Elproduktion från kraftvärme minskar påtagligt och är i princip borta år 2050.

Med fortsatt stor överföringskapacitet inom och utom Sverige fortsätter många av de existerande stora produktionsanläggningarna, såsom kärnkraft och vattenkraft, att producera el.

Stora elkunder från industri- och servicesektorn blir ännu viktigare för elbolagen då många mindre kunder har börjat producera sin el. Elbolag och stora industrikunder etablerar nära samarbeten kring storskalig elproduktion, och investeringar i medelstora kraftanläggningar sker i första hand för att förse industrier med stort elbehov. I vissa fall investerar stora industriföretag i stället i sin egen elproduktion då nätkostnaden ökar i och med ett minskat antal nätkunder (uttagpunkter).

Industrier köper in sig som delägare i befintliga kärnkraftverk för att förhindra en tidig stängning av reaktorerna. På grund av det minskade eluttaget ifrån det centrala nätet kommer dock inga nya stora kärnkraftsanläggningar att byggas. Vissa industrier väljer därför efter 2035 att investera i små kärnanläggningar, så kallad modulär kärnkraft.

För att få en stabil elförsörjning inom industrin, i kombination med en önskan om låg fossilandel, blir lösningarna storskalig vindkraft i kombination med industriell kraftvärme där olika industrier kan hjälpa varandra med en utjämning av produktion och elanvändning. Vindkraftsetableringarna sker oftast till havs, på grund av acceptansproblem, om industrin inte etablerar landbaserad vindkraft på egen mark.

Nyinvesteringar i elnäten i Sverige sker på lokal nivå där privata satsningar görs för att få näten smarta och optimerade för egenförsörjning, eller för att vara så oberoende från det centrala nätet som möjligt. Privata aktörer har tagit över stamnätet. De bygger ledningar och utlandsförbindelser för att kunna sälja vattenkraftsel till större kunder och andra länder. I övrigt hålls nyinvesteringar i elnäten nere.

Den totala biobränsle- och elanvändningen ökar något på grund av ökad energianvändning inom bostadsektor, industri och transport. Samtidigt minskar energianvändningen något för central fjärrvärmeproduktion.

De nya elmarknaderna

 Fram till 2050 sker en omfattande utbyggnad av mikroproduktion, mikrolagring och mikronät i Sverige. Elmarknaden genomgår stora förändringar och framför allt försvinner stora delar av bostadssektorns el- och värmekunder. Fler bilaterala avtal mellan storskalig industri och energiproducenter minskar handeln på nordiska elbörsen. Kvar blir delar av industrin och servicesektorn. Nordpool utvidgas till hela Europa, Europapool. Vattenkraften i Norden blir en allt attraktivare reglerresurs på den kontinentala europeiska elmarknaden.

Som ett resultat av att många mikronät uppstår bildas även små, lokala spotmarknader. I sydligaste Sverige startar en intresseorganisation för elkonsumenter en elmarknadsbörs för att kunna sälja solel mellan privatkonsumenter. Några andra marknader drivs av sammanslutningar mellan stora producenter och offentliga aktörer. Marknaderna styrs dock av gemensamma spelregler som bestäms genom en europeisk elbörsnämnd. Tre olika ”fysiska” handelsvaror listas på börserna; elenergi, elöverföringskapacitet samt ellagring. Antalet aktörer som agerar på elbörserna tusenfaldigas jämfört med 2016.

År 2050 består elsystemet av många småskaliga lösningar för värme och elproduktion, främst baserade på biobränsle och variabel förnybar el. Fler kopplar bort sig helt från nätet i och med att egna säsongslager utvecklats. Ett antal medelstora lokala produktionsanläggningar finns för industri.

Det finns lågt intresse för att investera i ny centraliserad produktion. Ett undantag är reinvesteringar i vattenkraft och stamnät, som fortsättningsvis behövs för att balansera effekt och leverera el till större städer och industrier. Även av exportskäl investerar privata aktörer i vattenkraft och överföringskapacitet, då el efterfrågas från kontinentala Europa.

MIKRONÄTET NACKSTA

Invånarrådet i stadsdelen Nacksta (Nackstakollektivet) i Sundsvall har bestämt sig för att bygga ett eget kollektivägt mikronät. Där finns egen sol-, vind- och biokraft samt energilagring i batterier och vätgastankar. De lokala energisystemen försörjer även invånarnas bilar och mopeder. Byggnadernas värmelast används för att anpassa elanvändning efter den fluktuerande elproduktionen, allt för att i största möjliga mån bli självförsörjande på energi.

Handeln med el inom mikronätet regleras genom digitala krediter, som dessutom ingår i ett lokalt bytessystem. En burk honung från balkongbikupan kan bytas på Nackstakollektivets handelssajt mot 10 kWh el från marknadens solcellsanläggning.

Ibland kommer tillfällen med överskott eller underskott av el, som inte stadsdelens egna flexibilitetsresurser kan hantera. Hela stadsdelen har därför ingått ett avtal med företaget ”Gröna stadsdelars elbörs AB”. De fungerar som en aggregator och köper och säljer poster med elanvändning och elproduktion på de större elbörserna. Dessutom erbjuds möjligheten att sälja vidare överbliven kapacitet i Nackstas batterilager, om lagret inte skulle används till fullo under vissa delar av året.

Politik och styrmedel



Statens operativa roll har minskat till fördel för regioner och kommuner. En mångfald av lokala lösningar finns och enas inom statens förenklade gemensamma styrning. Regler och styrmedel anpassas och skapas för att förenkla och understödja för individuella lösningar.

Konsumenternas ställning på energimarknaden är starkare än tidigare, och de mindre energianvändarna har en mer framträdande roll i utformningen av energisystemet. Det är lättare att gå ihop i kooperativ för att investera i gemensam elproduktion. När aktörer försöker hitta lokala lösningar kan risken för sub-optimeringar, som kan ge en ineffektiv helhet i planeringen uppstå. Myndigheter och kommuner tillhandahåller en stor mängd nätverk för att minska risken för detta. Även privata nätverk uppmuntras för att underlätta för prosumenter att utbyta erfarenheter kring elproduktion och energieffektivisering.

Närboende får större talan vid exempelvis etableringar av energi- och industrianläggningar och vid stora infrastrukturprojekt. Tillståndslagar som miljöbalken ändras för att försvåra byggnationer av exempelvis vindkraftverk, om de stör privata intressen för mycket. För en mer detaljerad genomgång av styrmedlen, se bilaga [Styrmedel](#), sidan 156.

År 2050 är energisystemet i högre grad organiserat på ett decentraliserat vis med ökad makt hos konsumenterna. Den totala energianvändningen skiljer sig inte så mycket från i dag, men fördelningen mellan olika energislag och hur energimarknaden fungerar har genomgått stora förändringar. Energisystemet kännetecknas av en hög grad av flexibilitet och individuella lösningar.

Utblick mot 2050

Leveranssäkerhet i småskaliga, decentraliserade elsystem

En utveckling av elnätet till att innefatta mer småskaliga och decentraliserade system skulle kunna leda till lägre leveranssäkerhet på systemnivå (i stamnätet) på grund av eventuella svårigheter i förutsägbarhet och synkroniserad styrning av dessa mindre, autonoma system.

Samtidigt pågår en teknikutveckling inom området med ökad automatisering, digitalisering, nya typer av styr- och reglerteknik och systemarkitekturer som förväntas ge möjlighet att kunna bibehålla och även öka leveranssäkerheten i system med ökat antal decentraliserade och småskaliga system³³.

En sådan utveckling förutsätter också en utveckling av olika typer av energilagerlösningar, vilket ökar möjligheten att vara självförsörjande vid leveransstörningar. Avbrotten drabbar inte heller lika många användare per gång.

Försörjningstrygghet kan skapas oavsett system om det finns med i planeringen på ett tidigt stadium. Det är således även möjligt att försörjningstryggheten utifrån ett samhällsperspektiv till och med kan bli bättre med småskaliga system.

Suboptimering – vem har helhetssyn

Om det blir upp till enskilda individer eller mindre grupper att bestämma över sin energiförsörjning, finns en uppenbar risk att systemet i stort inte optimeras eftersom det är svårt att ha helhetssyn. Även när det gäller infrastruktur och samhällsplanering kan det saknas helhetssyn, vilket kan medföra ökade kostnader och ta mer resurser i anspråk.

Individens frihet är kanske inte det allmännas bästa

I ett samhälle där individen och dennes behov sätts i centrum, finns risk att de lösningar som är de kollektivt bästa inte prioriteras, just för att man saknar ett helhetsperspektiv. Detta kan inträffa inte bara när det gäller elnätet (se utmaningen ovan) utan även inom områden som till exempel stadsplanering och vid företagsetableringar.

Klimatarbete kan gå långsamt

Individuella lösningar utan för mycket styrning kan leda till att klimatförbättrande åtgärder kan gå långsamt eller rentav stannas av.

Stor skillnad i energianvändning mellan olika grupper

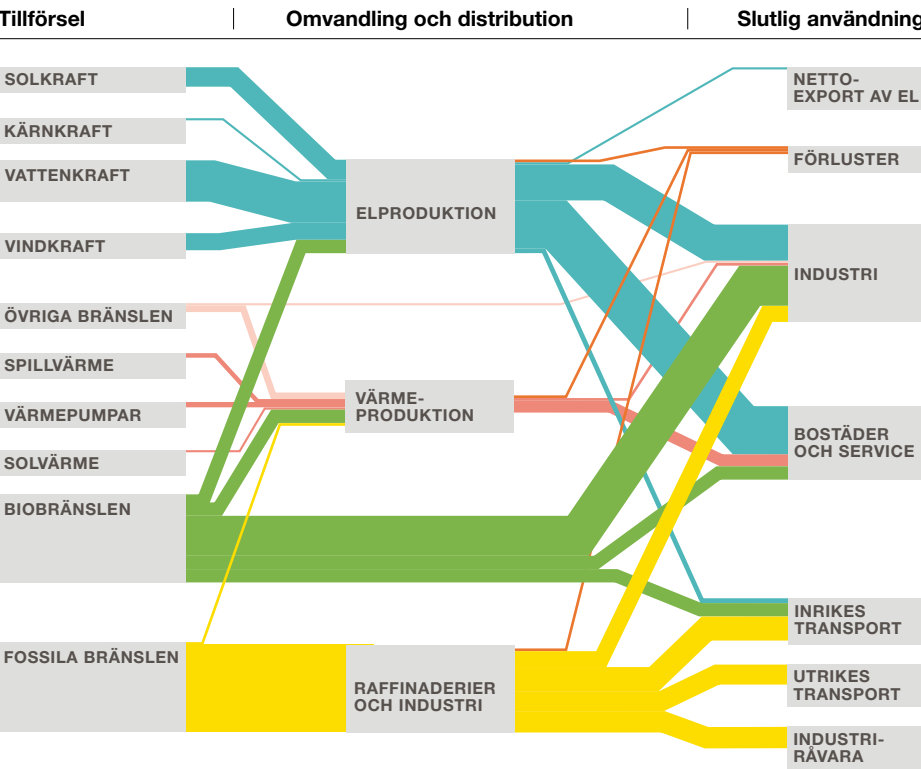
I detta scenario kan livsstilar och energianvändning komma att se väldigt olika ut mellan grupper i samhället, beroende på privatekonomiska förutsättningar, teknikintresse och entreprenörsintresse. Detta kan leda till ökade sociala klyftor i samhället.

Utmaningar

³³ EcoGrid EU, <http://www.eu-ecogrid.net> samt Cell Controllers Architecture, <http://energinet.dk/SiteCollectionDocuments/Engelske%20dokumenter/Forskning/Cell%20Controller%20pilot.pdf>



Energisystemet i Espresso 2050



Hemma hos Familjen Espresso år 2035

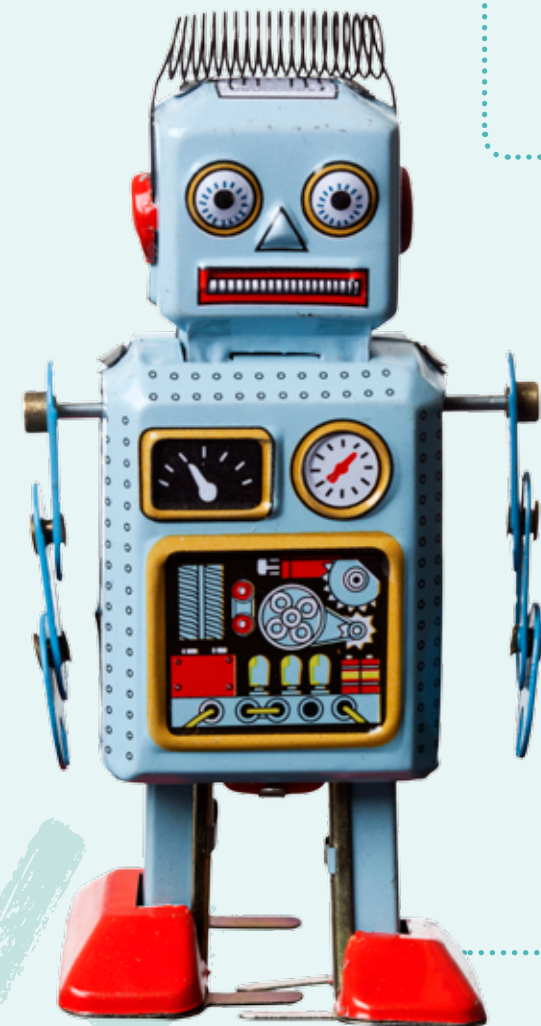
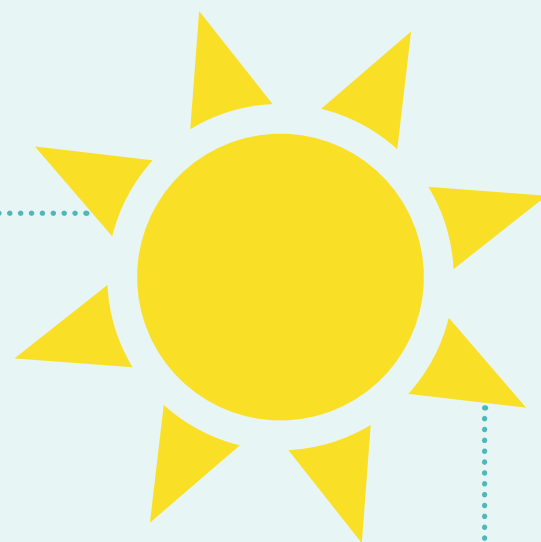
Familjen Espresso är en familj som valt att ta omställningen till ett helt förnybart energisystem i egna händer. Eller ja, inte bara omställningen av energisystemet, familjen är stolt över det ekosystem de byggt upp på sin tomt – och det märks på långt håll. På taket och i fönstren skimrar mångfärgad mosaik av solceller, familjens kombinerade pumpkraftverk och bevattningsanläggning porlar, i trädgården prunkar grönsaksodlingarna och de solcellsdrivna, automatiserade värme- och belysningsystemen till odlingarna ser till att optimera förutsättningarna för en bra skörd.

– Vi vill skapa den värld vi vill leva i, säger Espresso när hon visar oss runt. Så när vi köpte huset tog vi hjälp av en systemdesigner för att automatisera huset och trädgården. Och så vill vi ju helst bara använda förnybar el, och äta vår egen mat.

Eftersom familjen ville använda enbart förnybar energi och också ville göra det enkelt för sig för att ha tid med alla sina aktiviteter, så har Espressivos satsat mycket på automatiserade lösningar som ser till att energianvändningen för husets och trädgårdens stödprocesser följer produktionen av förnybar el. Såklart bidrar lösningarna också med att sätta guldkant på tillvaron.

– På sommaren är vi helt självförsörjande på solel. Förutom att huset är designat och styrs så att elanvändningen ska passa så bra som möjligt ihop med elproduktionen så har vi också ett batterilager. Det är så skönt att slippa strömbrott nu för tiden, batteriet kan täcka upp för det nödvändigaste.

Espressivos tittar även på en ny, billig teknik för att lagra större energimängder i stora tankar nedgrävda i trädgården. En del roliga lösningar har det blivit hemma hos familjen också. Som återvinningsmaskinen som skriver ut leksaker till barnen när de har som mest el.



På vintern köper familjen in en del el från nätet. De använder förstås också den solel som produceras och har gjort en hel del för att den egna elen ska räcka långt även på vintern.

– Dammen här i trädgården reflekterar ljus mot solcellerna på vintern. På så vis får solelsproduktionen lite extra hjälp när solen står lågt.

Huset är designat så det inte ska behövas så mycket uppvärmning.

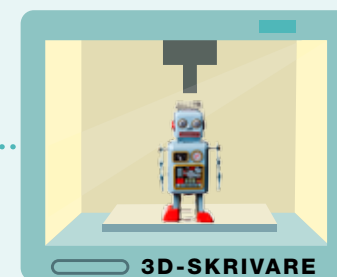
– Vi föredrar biobaserade produkter, så det mesta avfallet kan vi röta själva i vår biogastunna. Bergvärmepumpen värmer huset lite mer när vi har gott om el och lite mindre annars – då har vi ju värmen från biogasen. Värmepumpen är också kopplad till ett borrhållager, som ger extra värme på vintern och kyla på sommaren.

Ingen risk för att komforten påverkas alltså.

Vad kan familjen Espresso tänkas hitta på härnäst? De funderar på att koppla bort sig helt från elnätet. Trendströms i huset bredvid är redan på väg, de har nyss installerat ett bränslecellspaket som ska göra det möjligt.

Eller så köper de in sig i det lokala nätet som har ett vindkraftverk i stället. Espressivofamiljen är alltid nyfiken på nya, spännande lösningar som passar dem!

Vill du höra hur Espresso låter? Gå in på energimyndigheten.se/fyraframtider





viva ce

Scenario Vivace – energi är en språngbräda för klimatiförbättring



I Vivace är ny teknik och nya tjänster inom energi- och klimatområdet en viktig motor för utvecklingen i Sverige. Energi betraktas som en språngbräda för samhällsförändring och en möjliggörare för nya teknikbranscher som bidrar till klimatiförbättring. Innovationer lanseras och produkter säljs på en nationell och internationell marknad.

Politiker har ett starkt mandat från befolkningen att driva energi- och klimatfrågor internationellt. Sveriges befolkning har en stark tilltro till de internationella klimatiförhandlingarna och är starkt pådrivande. Svenska politiker driver på utvecklingen, trots att det i vissa fall leder till högre produktionskostnader och att Sverige inledningsvis betalar mer än andra länder för att minska utsläpp av klimatgaser. Erfarenheterna från att gå före används för att inspirera utveckling av nya varor och tjänster. Strategin skapar många nya arbetstillfällen och verksamheter, samtidigt som andra företag inte längre kan bära sina kostnader.

Staten investerar i transportinfrastruktur som minskar transporternas klimatpåverkan och för att underlätta för de framväxande industrigrenarna. Elektrifiering ligger högt på agendan, och staten satsar även på snabbtåg som förbinder Sverige med kontinenten. Bioraffinaderier växer fram och Sverige blir en ledande producent av avancerade biodrivmedel till vägfordon, flyg och sjöfart. De gröna näringarna växer också, skogsbruket och jordbruket satsar stort på biobränslen och på förädlade livsmedelsprodukter.



OMVÄRLDSFAKTORER I FOKUS



Global uppvärmning fortsätter



Teknisk utveckling fortsätter i snabb takt



Digitalisering utvecklar helt nya tjänster

Samhällsplanering



Riksintressena ”energi- och industriproduktion” har företrädare framför regionala och kommunala intressen i samhällsplanering för att säkra stora infrastrukturprojekt som går över kommun- och regiongränser.

Samhällsplaneringen genomsyras av slogans som ”smarta städer ger smarta medborgare” syftar till att skapa en teknik- och klimatsmart miljö för boende, fritid och arbete. Planeringen genomförs till stor del med hjälp av digitala system och de elektrifierade vägarna, gatubelysningen och bredbandsnätet är bara några exempel på sammankopplade system som kommunicerar med medborgarna.

Information om det mesta i samhället flödar och är tillgänglig för alla. Varje medborgare kan därmed hålla sig väl informerad tack vare innovativa tjänster, exempelvis när det gäller bästa resväg och färdväg just för stunden. De självkörande fordonen, både bussar och bilar, har fått ta mer plats i stadsplaneringen och större avgränsningar mellan gång- och cykeltrafikanter och annan fordonstrafik har gjorts för att minska risken för olyckor.



Livsstil och boende



Förvärvsarbete är på samma sätt som i dag den viktigaste delen av människors försörjning och åtta timmars arbetsdag är normen. Livssituationen är i grunden inte förändrad jämfört med i dag, utan resor och transporter pågår i den mån som klimatmålen tillåter. Konsumenter väljer i hög grad produkter som har liten klimatpåverkan.

För byggnader utvecklar arkitekter och ingenjörer nya tekniker att bygga energi- och klimatsmarta så kallade plusenergihus, ett lågenergihus som levererar energi till omgivande system. Stat, kommuner och näringsliv samarbetar i stora satsningar på utveckling av hållbara städer. En nyckelfaktor för utvecklingen är de nya intelligenta komponenterna i elsystemet som både underlättar för mer hållbar elproduktion och smartare elanvändning. Företag utvecklar ny teknik för bostäder och lokaler som möter den stora efterfrågan på klimatsmarta teknislösningar från fastighetsägarna. Detta matchas med skärpta krav vid renovering och finansiella incitament för fastighetsägarna.

Nybyggnationen av hus och lokaler ökar i och med att Sveriges befolkning önskar uppgradera sitt boende med ny teknik och klimatsmarta lösningar utformade efter vars och ens behov. Som ett resultat har energistandarden på hus och lokalbestånd i Sverige blivit drastiskt bättre år 2035, och nybyggda hus har en flexibel och låg energianvändning. Staten har också drivit på utvecklingen genom att skärpa byggreglerna för nybyggnation i enlighet med kraven på plusenergihus. Värmebehovet har minskat som följd av effektivare byggnader vilket bland annat lett till att fjärrvärmeunderlaget i framför allt flerbostadshusen och lokalerna minskat med totalt sett nära en fjärdedel.

I Vivace har den totala energianvändningen i bostads- och servicesektorn minskat relativt mycket till 2035. Energieffektivisering och en stark teknikutveckling och användning av ny teknik är grundläggande orsaker till minskningen, vilken fortsätter fram till 2050.

Industri



Näringslivet i Sverige jobbar aktivt för att påverka och driva på forskning och innovation för att ställa om industrin till att bli den klimatsmartaste i världen. Redan innan 2035 har den globala efterfrågan på ”gröna” produkter och tjänster ökat. Sverige har en växande roll i den globala energiomställningen och svenska folket har en stark övertygelse om att det samtidigt bidrar till ekonomisk tillväxt och jobb i nya företag. Den svenska industrin ställer om till mer cirkulära affärsmodeller och produktion, med ökade synergier mellan olika verksamheter genom smart design med låg råvaruanvändning och hög återanvändning av avfall från processer. Nya industrier lokaliseras i kluster så att de kan samverka och till exempel tillvarata varandras restprodukter.

I Vivace sker en större strukturomvandling inom industrin, som bland annat innebär en omfattande omställning till fossiloberoende produktion. Detta medför en ökad elektrifiering i industrin. Staten bidrar med ambitiösa forsknings- och utvecklingsstöd till fossilfri processteknik för den traditionella industrin, men framför allt till innovationer och kommersialisering i nya miljöteknikföretag. Företagen satsar också själva utifrån strikt affärsstrategiska skäl på energieffektivisering och annan resursoptimering som ett sätt att stärka sin konkurrenskraft.

Det växer fram ett antal platser i Sverige där det sker en koncentration av verksamheter för teknikutveckling, forskning och utveckling för produktions- och tjänstesektorer. Dessa center attraherar bolag och experter inom ett stort antal områden inte bara nationellt utan även internationellt. Med tiden blir Sverige en test- och demonstrationsmarknad för ny teknik.

Sverige blir också ett nav i den växande globala återvinningsindustrin, vilket innebär att råvarubasen för industrin består dels av import, dels av svenska råvaror och restprodukter. Alla nyetableringar byggs med stort inslag av förnybar energi.

De högre klimatskatterna leder till att de befintliga malmbaserade järnverken ställer om sina processer. En större mängd processer drivs med hjälp av elkraft. I vissa järn- och stålverk har det skett en satsning på helt elbaserad ståltillverkning genom direktreduktion med vätgas³⁴. En ökad mängd stål som produceras från returstål tillverkas i Sverige. En stor omställning av industrin gör att svenskt stål är klimatmässigt världsledande och har stora exportmöjligheter.

Gruvindustrin utvecklas med brytning av sällsynta jordartsmetaller som förser den växande gröna miljöteknikbranschen med värdefulla och nödvändiga resurser. Alla arbetsmaskiner inom gruvnäringen är eldrivna.

Inom raffinaderi- och pappersbruksnäringen sker en betydande samlokalisering, för att öka möjligheten till återanvändning av restprodukter. Industrierna koncentreras till några få områden, och därutöver finns inte lika mycket verksamhet. Vissa företag kommer därför att växa och andra kommer att behöva läggas ner. Bioraffinaderier blir fler och ökar sin produktion på bekostnad av den traditionella petrokemiindustrin. Företag inom de nya klustren tillverkar framför allt biodrivmedel, bioplast samt miljövänliga förpackningar för både den globala och inhemska marknaden.

I och med att klimatförändringarna markant förändrat möjligheterna för odling globalt sett, använder tidigare bomullsodlare sin mark nu främst till att odla mat. Därför har svensk textilindustri fått ett uppsving genom att inleda nära samarbeten med skogsindustrin och år 2035 har de hittat energieffektiva och miljövänliga processer för att göra textil av både återvunna och nya cellulosafibrer.

En stor andel av tillväxten sker inom verkstadsindustrin, med hjälp av helt nya produkter inom bland annat energi- och miljöteknik. Denna utveckling påverkar

³⁴ Masugnprocessen, där reduktion sker med kol, ersätts med en alternativ lösning som bygger på konventionell direktreduktion med ren vätgas som reduktionsmedel. I stället för koldioxid blir restprodukten vatten.

inte energianvändningen totalt sett. Dels eftersom verkstadsindustrin har en relativt liten energianvändning, dels för att industrin hela tiden blir bättre på att resurseffektivisera produktionsprocesserna. En stor del av produkterna exporteras utomlands.

Det finns möjlighet att köra en del av den energiintensiva industrins processer på sådant sätt att de kan balansera för överskottsel från exempelvis vindkraft. De fluktuerande elpriserna medför att det tillkommer nya processer som följer elpriset, och att en del processer anpassas för flexibel drift. På så vis stärker Sverige ytterligare sin position som ”grönt batteri”, ett land som tar ett klimatansvar och förser Europa med förnybar el och som bidrar med flexibilitet till det europeiska elsystemet.

**SERVERHALLAR I SVERIGE
– EN JOKER I DEN FRAMTIDA ELANVÄNDNINGEN**

Datacenter är en joker i Sveriges framtida elanvändning. Hur denna utveckling sker är i hög grad beroende av elpriset. Om upp till ett trettiotal datacenter etableras i Sverige till år 2050, så antas de använda mer än 10 TWh³⁵ el. Ägare av datacenter kan också välja att växla datatrafiken hos sina datacenter mellan olika länder, genom att minska eller öka användningen och dra nytta av att använda datacenter i det land med för stunden bästa elpris. Etableringen av datacenter är möjlig i alla scenarier.

35 ER 2015:18 ”Industrins långsiktiga utveckling i samspel med energisystemet”.

Transport



Transporter baserade på el och olika former av avancerade biobränslen utgör grunden. Kollektivtrafik med hög grad av möjligheter för att hantera individuella transportbehov skapas på platser där det är lönsamt. Rälsbunden trafik är prioriterad och staten bygger tillsammans med näringslivet snabbtåg som förbinder Sverige med Europa och erbjuder transport av persontrafik och gods. Det ses som ett sätt att avlasta stambanan så att fler godstransporter kan ske där, men också för att tillgodose efterfrågan på snabba persontransporter med tåg. Staten satsar även på att bygga ut elvägar på strategiska sträckor där det är stor industriell aktivitet.

Efterfrågan på transporter är relativt hög både för gods och persontransporter, på grund av den industriella aktiviteten och den ekonomiska utvecklingen. Energiåtgången för detta kompenseras delvis av energieffektiv samhällsplanering, goda möjligheter till samhällsplanering, välutvecklad teknik för samordning av trafikslag och ökad användning av el i fordonsflottan.

Fordonen är mer energieffektiva, och längre och tyngre fordon tillåts. EU:s nya fordonsdirektiv har drivit på omställningen till energisnåla personfordon. Ett system införs där man stöttar etablering av bilar med mer klimatneutrala utsläpp. Näringslivet satsar på elfordon och laddhybrider byggda av biokomposit³⁶, vilket gör bilarna lättare och minskar drivmedelsförbrukningen och vägslitaget. I städerna tillåts endast personbilar som uppfyller högt ställda krav på buller och låga, klimatneutrala utsläpp. Staten och näringslivet har gemensamt satsat på att få igång inhemsk produktion av biodrivmedel tillverkat av restprodukter från jord- och skogsbruk.

36 Biokomposit är ett lätt material som tillverkas av bland annat träfibrer och biobaserade bindemedel.

Förändrade boende- och arbetsrutiner påverkar i viss mån vårt privata resande. Arbetsrelaterade internationella resor förväntas öka, men även lösningar som resfria möten ökar i användning. Internationella transporter är en viktig komponent för att kunna upprätthålla handel och relationer med omvärlden och leverera varor och tjänster från Sverige. Merparten av vårt resande i Europa sker med vakuumbågen. För längre internationella resor prioriteras solcellsflyget eller flyg som körs på biodrivmedel.

Stat och näringsliv satsar på olika typer av demonstrationsanläggningar för ny teknik, och bygger upp olika testflottor. Exempel på detta är satsningar på autonoma fordon, där fokus ligger på hur dessa fordon kan användas för att främja säkerhet och energieffektivitet i transportsystemet.

Staten gör tillsammans med näringslivet också en kraftfull satsning på utveckling av batteritekniker för att främja övergången till ökad elektrifiering av transportsektorn. Ett annat exempel är att stat och näringsliv tillsammans gör en satsning på bränslecellsfordon och infrastruktur i vissa nischområden. Resultaten är inte fullt implementerade till 2035, men närmare 2050 har de slagit igenom.

VAKUUMBÅG – DET NYA SNABBTÅGET I VIVACE?

I Vivace satsar svenska staten tillsammans med övriga EU-länder och med näringslivet mycket på forskning och innovation för vakuumbåg för etablering i folktäta områden. I samarbete med flera europeiska länder etableras en försöksanläggning under 2020-talet mellan Norrköping och Linköping, och efter år 2035 etableras tekniken på stamsträckan Stockholm–Malmö. Tågen fortsätter sedan ner mot kontinenten. Vakuumbågen utvecklas genom öppet forum-lösningar, där många frivilliga krafter blandats in parallellt med att flera bolag bildas för att driva igenom konceptet. Tävlingar på universitet har resulterat i nydanande design av bland annat terminaler för bra flöden och en attraktiv miljö.

Vakuumbågen transporterar tåg i långa rör som evakueras från luft för att reducera motståndet. Rören kan ha lite olika diameter för olika koncept, men kan transportera både person- och gods-transporter, även containrar. Vakuumbågen byggs på pelare för att minska anläggningskostnaderna och påverkan på mark. Hastigheten för vakuumbågen är hög, uppskattade hastigheter är mellan 600 och 1 000 km/h.

Energiförsörjning



Med hjälp av flera olika incitament satsar staten stort på förnybar elproduktion som vind-, sol- och vågkraft. Befintlig kärnkraft blir utan nyinvesteringar, och fasas därigenom gradvis ut.

Vivace präglas av en stor omställningsiver. Sverige är 2035 en testarena för en rad marknadsintroduktioner inom förnybar energiteknik. En ökad mängd biodrivmedel produceras i de svenska fabrikerna och skeppas ut i världen. Störst är satsningen på nya typer av bränslen baserade på restprodukter. Även om den inhemska användningen av biodrivmedel ökat så producerar bioindustrin ändå ett överskott som kan exporteras.

Det ökade uttaget av biomassa från skogen löses bland annat genom att sätta av delar av skogen till högproduktionszoner, med mindre krav på ekologisk mångfald och storskalig användning av nya träsorter samt tillskott av kvävegödsling. I gengäld sätter man av större arealer skyddsvärd skog till reservat, i vissa fall med visst biomassauttag i form av utglesning.

Staten och näringslivet initierar tillsammans ett flertal demonstrationsprojekt, där tillförsel, lagring, överföring och användning av energi demonstreras som en helhet. Staten stödjer till exempel byggandet av ett tiotal batterilager (>1 MWh) som placeras i olika regionnät i södra Sverige.

Flera nya industrigrenar växer fram. Bland annat tillverkar man kraftverk för vågor och havsströmmar, nya typer av högeffektiva solceller och prefabricerade huselement med elproduktion och lager integrerat. Genom stöd till marknadsintroduktioner finns efterfrågan från en hemmamarknad, men år 2035 har den globala marknaden tagit över som den viktigaste målgruppen.

Ett statligt initiativ medför att vattenkraftsägarna genomför en effekthöjning inom vattenkraften som innebär att de stora vattenkraftsälvarna höjer sin maxeffekt med över 30 procent. Effekthöjning och andra åtgärder för ökad flexibilitet i vattenkraften bidrar till de allt viktigare systemtjänsterna som behövs för att möjliggöra stora mängder förnybar el i energisystemet.

Nya systemtjänster gör att flexibiliteten i elsystemet ökar, vilket bidrar till att elanvändningen blir mer ekonomisk. I samband med att sol- och vindkraften ökar i elsystemet så tillåts prisvariationerna slå igenom på elbörsen. Detta höjer värdet på regler- och balanskraft. I Vivace utvecklas elnätet kontinuerligt med ny teknik för styrning och mätning. Detta för att kunna exportera ny resurssmart nätteknik.

I Vivace fungerar även internet som en reglerresurs. Serverhallar i norra Sverige kan tillfälligtvis öka eller minska sin datatrafik och styra om trafiken med hjälp av serverhallar i andra delar av världen. På detta sätt kan serverhallarna dra nytta av de riktigt låga elpriser som tidvis uppstår från den väderberoende elproduktionen.

Den nya centrala datahub som kommer igång i början på 2020-talet öppnar också nya möjligheter för energitjänster. Sverige har en stor kunskap inom elkraft och automation vilket, tillsammans med nyskolade entreprenörer med IT-kunskap, leder till en snabb teknikutveckling av nya produkter. Den utbyggnad av bredband som skett i Sverige bidrar med uppkoppling mellan konsumenter och produkter och mellan tjänster och handelsplatser. Snart är hemmen helt kopplade med automatisk elektronik som anpassas efter så väl den förnybara produktionen som elnätens kapacitet.

Elmarknaden är väl kopplad med Europa, och ”den europeiska elmarknaden” är ett faktum. Tidsupplösningen på marknaden närmar sig realtid och all handel är automatiserad. Nätbolagen satsar stort på överföringskapacitet i form av avancerade likströmskablar³⁷ som sammanlänkar Sverige med kontinenten så att svenska elkunder kan dra full nytta av den europeiska elmarknaden. Detta medför att Sveriges energiproducenter inte behöver lösa alla över- och underskottssituationer på egen hand. Då Sverige bland annat levererar en stor mängd el från vågkraft och strömkraft³⁸ till andra europeiska länder bidrar en ökad överföringskapacitet också till en grönare elmix i den europeiska elsystemet.

Till följd av ökningen av den förnybara elproduktionen minskar andelen kärnkraft i elsystemet. År 2035 finns de tre största reaktorerna kvar, men har snart nått sin tekniska livslängd. Dock pågår forskning på fjärde generationens kärnkraft för att den bedöms som en internationellt viktig teknologi. Utvecklingen sker främst med en utländsk marknad i åtanke, med fokus på länder som har sämre förutsättningar för vindkraft och vattenkraft än Sverige, vilket gör det svårare att ställa om till ett fossilfritt energisystem utan att ha kärnkraft med i energimixen. Forskningen har även som mål att bidra till att hitta lösningar för kärnavfall från tidigare kärnkraftsproduktion.

37 Likströmskablar (High Voltage Direct Current, HVDC) transporterar ström effektivt på långa avstånd. Likströmskablar har vissa fördelar jämfört med växelströmskablar, bland annat vid användning över långa avstånd.

38 Med strömkraft avses el producerad från kraftverk i strömmande vatten.

I Vivace har fjärrvärmenätsägarna introducerat dynamisk fjärrvärme, som innebär att de tillåter olika temperaturintervall på olika punkter i fjärrvärme-systemet. Detta gör att värmebolagen effektivt kan utnyttja lokal spillvärme och värmeproduktion. Byggnadernas värmetröghet³⁹ finns modellerad i systemet, vilket gör att värmebolagen kan styra fjärrvärmeanvändningen mer resurseffektivt.

Politik och styrmedel



Vivace styrs mer av möjliggörande styrmedel än av styrmedel med förbudskaraktär. Betydande regleringar vilka fördyrar fossil bränsleanvändning och drift av andra miljöskadliga verksamheter, förekommer dock.

Satsningar på forskning, utveckling och demonstration är flera gånger högre än i dag. Samtidigt präglas samhället av att relevanta aktörer inom energi- och klimatområdet har en god förmåga att fånga upp innovationer. Intresset för nytänkande produktutveckling är stort, och regeringen har främjat företagande genom att minska begränsande faktorer för företagande i lagar och förordningar.

Systemet med ett ekonomiskt styrmedel för att främja förnybar elproduktion (elcertifikat) finns kvar och staten ger riktat stöd till vågkraft och havsbaserad vindkraft. Staten stödjer även utveckling inom biokraftsområdet. För en mer detaljerad genomgång av styrmedlen, se bilaga [Styrmedel](#), sidan 156.

³⁹ Värmetröghet är ett mått på husets termiska stabilitet och förmåga att lagra värme, exempelvis i väggarna, grunden och bjälklagen. Husets värmetröghet bidrar till att motverka variationerna i inomhustemperaturen vid kraftiga variationer i utomhustemperaturen.



År 2050 har Sverige ett starkt näringsliv inom gröna näringar. Staten är involverad främst när ny teknik ska introduceras. Det starka fokus som lagts på detta har resulterat i att vissa industrigrenar som den petrokemiska industrin och järn- och stålindustrin har undergått stora omdaningar som krävt stora investeringar. Elbaserade lösningar och användning av bioenergi är vanligt.

År 2050 producerar energibolagen stora mängder el från vindkraft och bio-kraftvärme. Kärnkraften är då helt utfasad. I princip alla byggnadsmaterial på nya byggnader kan använda sig av det solljus som strålar in, vilket gör att solel står för en relativt stor andel av elproduktionen.

Fossilanvändningen är nästan helt utfasad. Sverige har ett elsystem med ungefär lika mycket produktion som användning. Transportsystemet har till 2050 helt slutat använda fossila bränslen, utom vid utrikes transporter.

Utblick mot 2050

Massiv uppskalning av ny teknik

Staten måste bekosta en stor satsning på forskning och innovation, demonstration och kommersialisering. Hur säkrar staten att finansiering finns i alla faser av innovationsprocessen, exempelvis efter att första pilotfabriken är klar fram tills att ett företag kan börja sälja produkter på kommersiella villkor.

Energiintensivt och hög användning

I Vivace används fortfarande mycket energi, ett förhållningssätt som kan vara ifrågasatt för att uppnå mål om minskad klimatpåverkan.

Markanvändning för biomassa

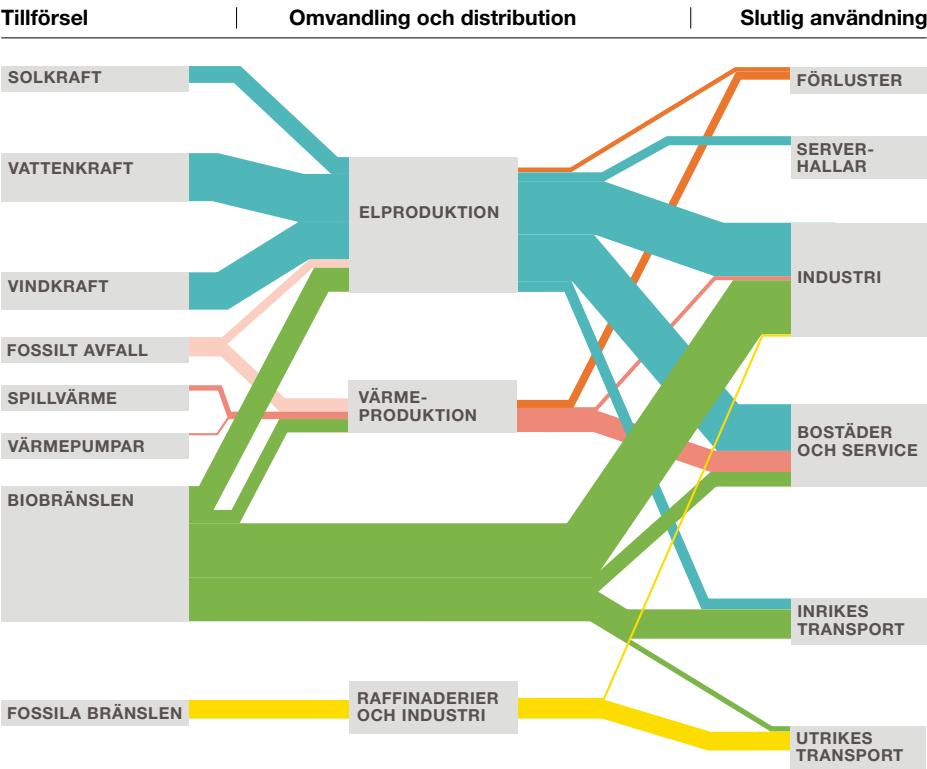
Den stora produktionen av bioenergi och biodrivmedel kräver stor mängd tillgänglig biomassa. Biomassan som finns tillgänglig kanske inte räcker till för att genomföra all produktion av bioenergi och biodrivmedel.

Högteknologisk arbetslinje

För att möjliggöra all utveckling inom energi- och tillverkningsindustrin krävs många personer med rätt kompetens. En utmaning är att ta tillvara kompetens, utbilda personer och få tillräckligt många i arbete.

Utmaningar

Energisystemet i Vivace 2050



Skogsbrukaren Vivace

Vivace från Barkeryd stiger förväntansfullt in i bilhallen i Jönköping och tittar sig omkring. Det nybyggda biltemplet står med en konstruktion av stora limträbalkar som bär upp ett delvis ljusgenomsläppligt solcellstak. Vivace är skogsbrukare i femte generationen, och den senaste skogsavverkningen har gett avkastning som nu ska gå till ett nybilsköp. Den bilen hon fastnar för är en lite större silvergrå sedan, i extrautrustad premiummodell och med hybriddrift.

Bredvid bilen står en skylt som specificerar prestanda och materialinnehåll. När Vivace läser skylten blir hon till sin glädje varse att den till stor del är byggd av biobaserade material. Hennes skog?! Karossen är byggd av kolfiber från barrvedslignin. Däcken och all plast kommer från isobuten som också är från skogsråvara, likaså alla bilens textilier. Dessutom är batteriets elektroder också från lignin.

Det blir ett köp! När hon är på väg hemåt i sin nyinköpta bil svänger hon in till macken och ställer sig bredvid pumpen. På pumpens skylt står det ”lokalt producerad talloljediesel”.

– Tänka sig, man har nästan blivit självförsörjande på transporter, säger Vivace för sig själv.

I kväll ska hon shoppa en klänning på nätet. Kanske kommer den också att vara gjord av textil från hennes skog?

Vill du höra hur Vivace låter? Gå in på energimyndigheten.se/fyraframtider

vivace



Jämförelser av de fyra framtiderna

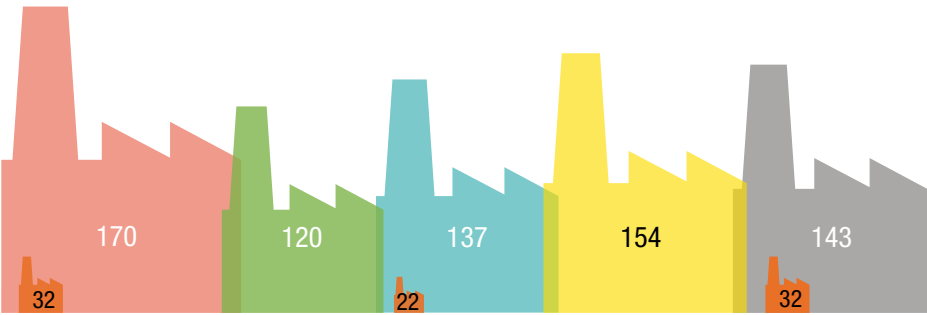
Jämförande tabell

	Forte	Legato	Espressivo	Vivace
Huvud-prioritering	Energi fungerar som ett bränsle för tillväxt och framgång	Energi är en globalt begränsad resurs som ska delas rättvist	Energi är ett uttrycksmedel för människors livsstil	Energi är en språngbräda för tillväxt på klimatets villkor
Statens fokus	Näringslivets behov	Snabb klimatomställning	Individuella lösningar	Forskning och innovation
Energisystem	Centraliserat	Förnybart	Decentraliserat	Högteknologiskt
Andel förnybart i energisystemet	50 procent	Nära 100 procent	75 procent	Nära 100 procent
Efterfråge-flexibilitet¹	Begränsad	Medel till hög	Hög i det egna systemet	Hög och helt automatiserad
Lösning vid effekttoppar	Strategisk effektreserv	Centraliserad styrning av effektanvändning	Eget/lokalt ansvar för effektförsörjning	Marknaden löser effektsituationer

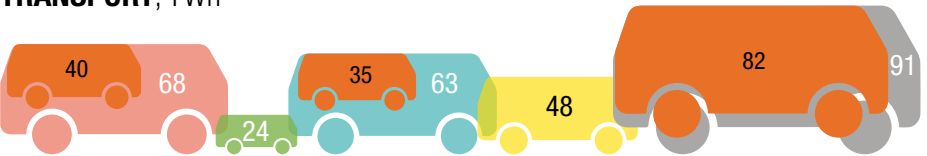
TOTAL ENERGIANVÄNDNING 2050



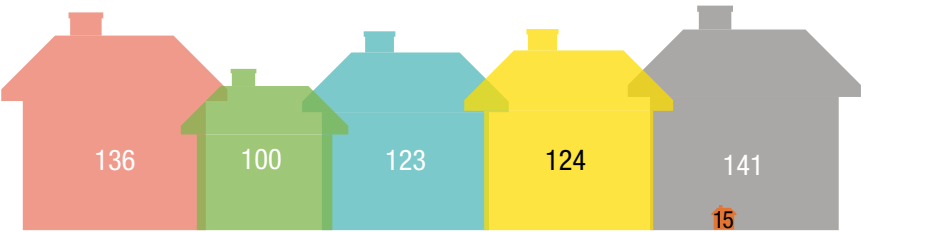
INDUSTRI, TWh



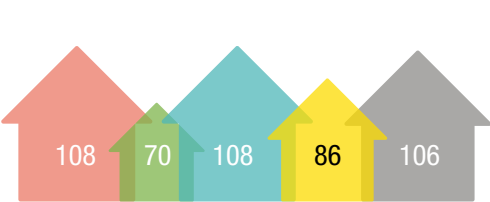
TRANSPORT, TWh



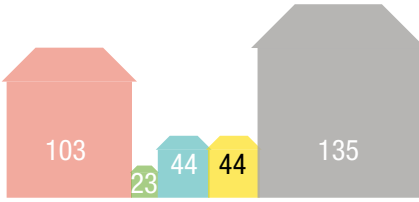
BOSTÄDER OCH SERVICE, TWh



SMÅHUS, kWh/m²

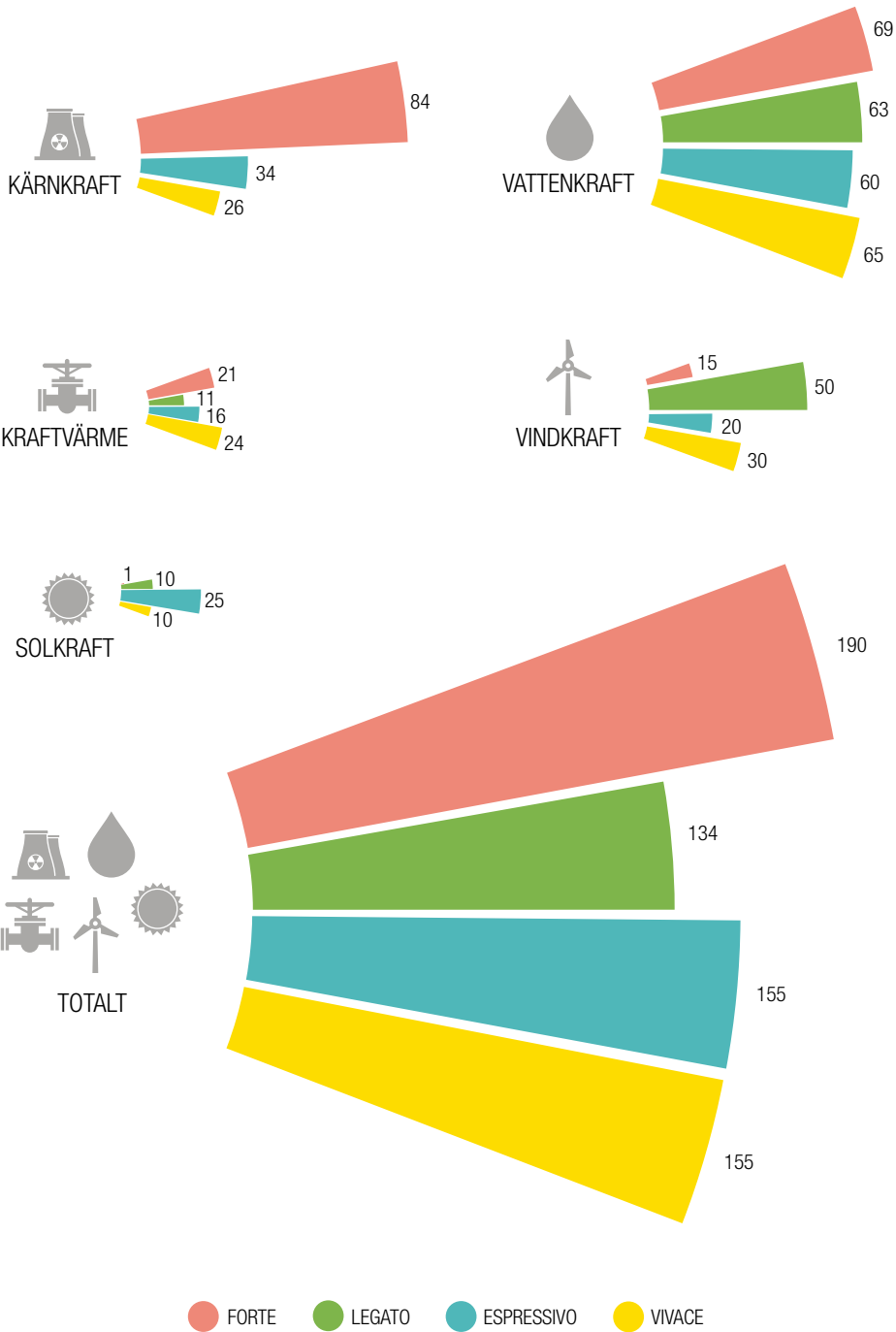


FLERBOSTADSHUS, kWh/m²

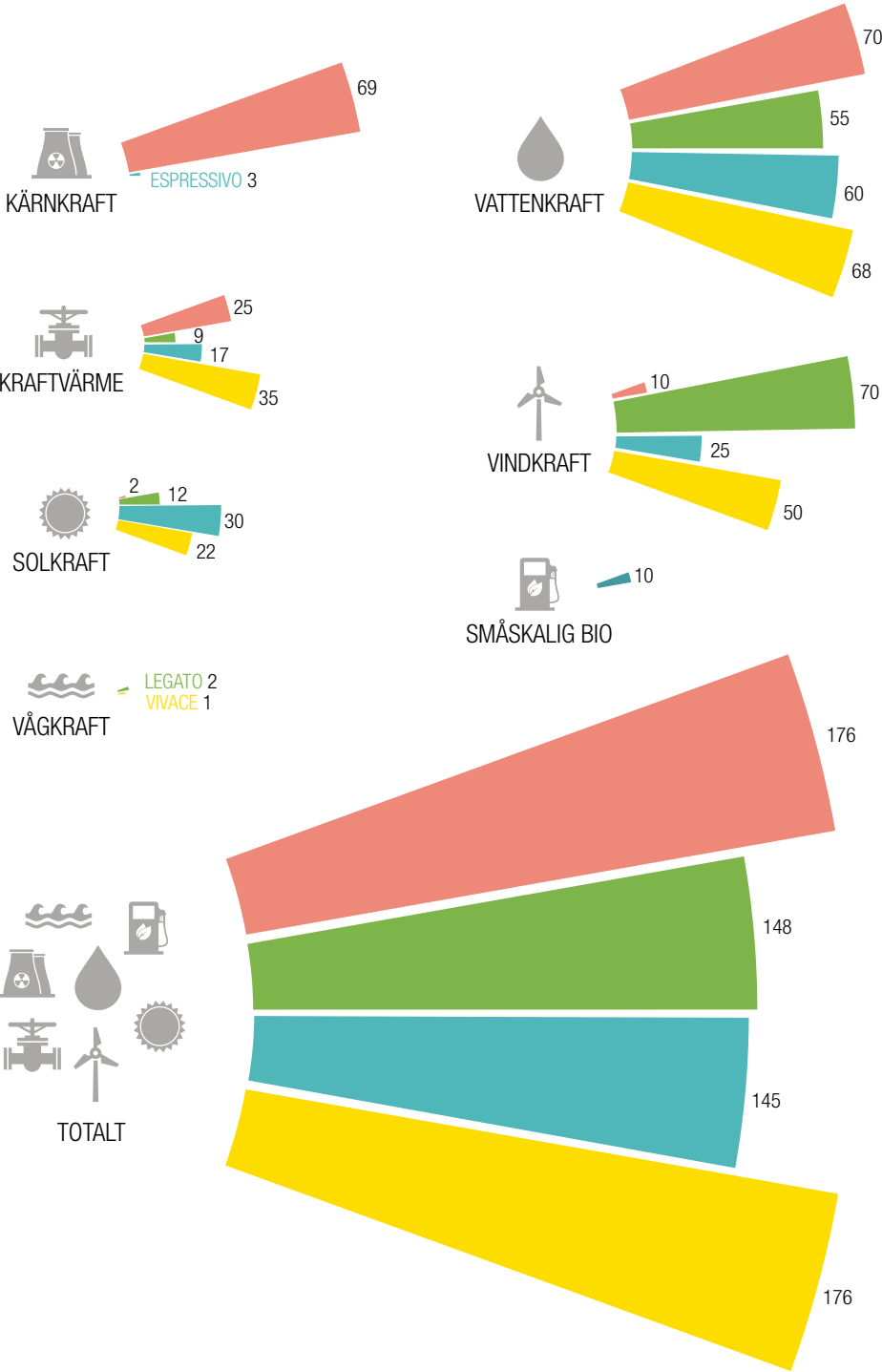


Forte Legato Espresso Vivace 2014 Fossila bränslen

ELSYSTEM 2035, TWh



ELSYSTEM 2050, TWh



Analys av de fyra scenarierna

Bedömning av investeringar och robusthet för elsystemet

Scenarierna är uppskattade utan hjälp av modeller. Modellsimuleringar har sedan gjorts för att simulera scenarierna och för att kunna göra konsekvensanalyser av dem.

Elsystemet är internationellt

För att göra en konsekvensanalys av elsystemets framtida utveckling måste vi först konstatera att elsystemet inte enbart är en svensk angelägenhet. Sverige har en gemensam nordisk elmarknad med kablar och ledningar till våra grannländer. Av den anledningen har vi i detta projekt använt två befintliga simuleringsmodeller för elsystemet, Markal⁴⁰ och Apollo⁴¹. De tar med det nordiska och europeiska elsystemet i beräkningarna. Modellerna utgår ifrån dagens kunskap och marknadsmodell.

När händelser i Sverige provas i dessa nordiska modeller innebär det i praktiken att bara en mindre del av parametrarna i modellen ändras. Resultatet för våra scenarier kan därför likna varandra trots att Sverige gör till synes stora förändringar. Detta beror på att omvärlden har stor påverkan i modellerna, och omvärlden har samma utveckling oavsett scenario. I alla simuleringar finns det också en god energibalans med stor överföringskapacitet.

Goda förutsättningar för stor export i alla scenarier

Handel och utbyte av el mellan olika länder och elområden sker varje timme. De senaste åren har Sverige nettoexporterat⁴² el och både Markal och Apollo visar på goda förutsättningar för stor nettoexport även i framtiden.

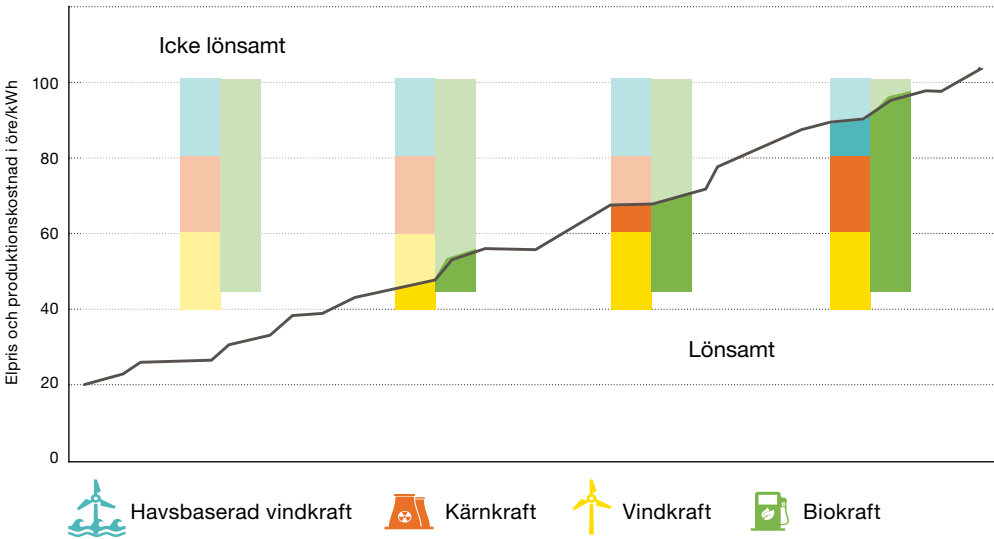
I samtliga modellkörningar når vi år 2035 en nettoexport på 20–40 TWh. Det är framför allt Sveriges stora potential för landbaserad vindkraft tillsammans med planerad tillkommande överföringskapacitet som möjliggör den stora exporten i scenarierna.

Elpriserna avgörande för investeringarna

För att se vilka möjligheter det finns att investera i ett visst produktionsslag används ofta produktionskostnader i öre per kWh som inkluderar investeringskostnad, anslutningskostnad, driftkostnad och kapitalkostnad. Produktionskostnaden kan då enkelt jämföras med elpris och eventuellt stöd för att se vad som är lönsamt eller inte. I verkligheten skiljer sig investerarnas förutsättningar vilket gör att kostnaderna kan skilja sig åt. Intäkter för försäljning av el kan också skilja mellan olika produktionsslag.

Elprisets nivå är i modellerna helt avgörande för vilken utbyggnad och lönsamhet elsystemet i modellerna resulterar i. Figuren nedan visar produktionskostnaderna för några olika kraftslag, enligt våra modeller. Med ett lågt elpris behöver alla produktionsslag som ska byggas någon form av stöd. När elpriset stiger till högre nivåer blir allt fler produktionsslag lönsamma att bygga ut utan stöd, bara med hjälp av elpriset. Solenergi är inte med i jämförelsen eftersom den konkurrerar på andra villkor än mot slutkundens elpris.

Uppskattning av produktionskostnaderna för olika produktionsslag och hur elprisets nivå blir avgörande för att olika kraftslag ska bli lönsamma att bygga ut



⁴⁰ Markal är en nordisk energisystemsmodell med kopplingar till Tyskland och Polen som bygger den ekonomiskt mest optimerade produktionsmixen utifrån satta förutsättningar.
⁴¹ Apollo är en elmarknadsmodell som simulerar den europeiska kraftmarknaden upp till timnivå utifrån en förutbestämd produktionsmix. Anger även priset på el.
⁴² Nettoexport anger på årsbasis hur mycket mer elexport än elimport Sverige har haft.

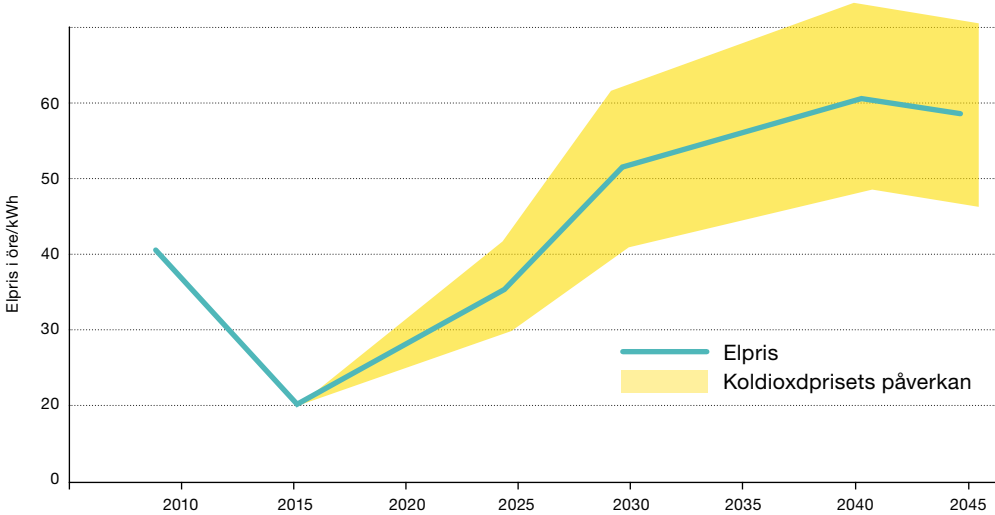
Stor påverkan av koldioxidpriset

Simuleringsresultaten visar att elpriset på sikt ökar i alla scenarier⁴³. Det gör det lönsamt att bygga ut mer elproduktion i Sverige utan stöd. Något som har stor påverkan på elprisets utveckling i modellerna är det antagna koldioxidpriset. Trots scenariernas helt olika produktionssystem ligger det framtida elpriset på ungefär samma nivå om samma koldioxidpris antas.

Ett högt koldioxidpris påverkar inte främst produktionsanläggningar i Sverige utan fossila anläggningar i omgivande länder. På grund av omfattande handel med omgivande länder ökar elpriset även i Sverige. En snabb omställning till förnybart i alla länder skulle därför kunna ge lägre elpriser jämfört med modellkörningarna som inte tar hänsyn till detta.

Utöver koldioxidpriset ger även ökad efterfrågan på el stigande elpriser, medan utbyggnad av elproduktion sänker elpriset. Diagrammet nedan visar att koldioxidpriset är en faktor som påverkar elprisets utveckling mer än utformningen av själva elsystemet i Sverige.

Genomsnittlig elprisutveckling enligt modellerna Apollo och Markal, samt hur mycket ett högre eller lägre pris på koldioxid påverkar elpriset



⁴³ Scenariot Espressivo har enbart simulerats i modellen Apollo och slutsatser för det scenariot byggs enbart på simuleringar från Apollo.

Modellerna visar utmaningar med scenarierna

De simuleringar som gjorts i modellerna Apollo och Markal har hjälpt oss uppmärksamma olika utmaningar som finns för de olika scenarierna och den elproduktionsutbyggnad som scenarierna förutsätter. Här redovisar vi kortfattat några.

Kraftig utbyggnad av vindkraft när elpriset stiger

När elpriserna stiger, resulterar det i en kraftig utbyggnad av landbaserad vindkraft på runt 70 TWh i våra simuleringar. En förklaring är att potentialen för landbaserad vindkraft med låg produktionskostnad är mycket hög i Sverige. Förutsättningarna för att bygga ut mycket produktion finns också på grund av överföringskapacitet och möjlighet till export. I ett känslighetsfall i Markal testade vi vad som händer om överföringskapaciteten begränsas och andra angränsande länder samtidigt bygger ut mycket förnybar el. Resultatet blev att investeringarna i vindkraft minskade så att nettoexporten begränsades till 10 TWh per år.

Utbyggnad av kärnkraft förutsätter stöd

För att bygga ny kärnkraft i den omfattning som Forte beskriver krävs det någon form av stöd till kärnkraften enligt våra modeller. Dessutom krävs ett aktivt stopp av utbyggnaden av landbaserad vindkraft i Forte. Havsbaserad vindkraft, som har en ännu högre produktionskostnad än kärnkraft i modellerna, byggs inte i några scenarier ut utan stöd.

Espressivo är ett svårt scenario att simulera eftersom många elkunder väljer att koppla bort sig från nätet. I de modellkörningar vi gjort har bortkopplad produktion undantagits och marknaden ser ut att fungera även med en mindre mängd el i omlopp. Men vad kostar mikronät, batterier och egna elproduktionslösningar? Får de elkunder som är kvar på nätet förvänta sig högre nätkostnader? Blir det mindre tryck på balansreglering om många elkunder samt variabel produktion befinner sig utanför nätet? Det är frågor som vi lyfter men inte har kunnat behandla i modellkörningarna.

För kraftslag som vattenkraft och biokraft finns en möjlighet att få högre intäkt än det genomsnittliga elpriset eftersom det går att planera när dessa anläggningar ska producera. Enligt modellkörningarna producerar biokraft inte så mycket el som vissa scenarier uppskattat. Ett minskande värmeunderlag i flera scenarier tillsammans med stor konkurrens från billigare fjärrvärmeproduktion som spillvärme och avfallskraftvärme gör att biokraftvärmen inte blir stor utan ytterligare styrmedel.

Den modellerade marknaden fungerar i alla scenarier

Elmarknaden hjälper oss att matcha utbud mot efterfrågan för varje enskild timme i elsystemet. Om det under en timme är hög efterfrågan och lågt utbud av el resulterar det i ett högt timpris. Låg efterfrågan och högt utbud ger ett lågt elpris. Det är därför intressant att analysera hur priserna varierar i de olika scenarierna, för att se om den modellerade marknaden klarar av att hantera alla situationer.

Variabla elpriser anses även vara en viktig drivkraft för att utveckla flexibilitet av olika slag. Med mer variabel elproduktion ökar vanligtvis variationerna i elpriset. Priserna är mer stabila i Forte än i de tre andra scenarierna. Skillnaderna mellan scenarierna är dock inte så stora som vi hade förväntat oss. Espresso och Vivace har ungefär lika många timmar med nollpriser som Forte och antalet timmar med priser över 1 kr/kWh är ungefär samma i alla scenarier.

Att priserna inte skiljer sig mer mellan scenarierna beror troligtvis på att Sverige bara utgör en del av hela systemet, men skulle också kunna bero på att modellerna underskattar variationerna i ett framtida elpris. Utifrån våra resultat måste vi ändå dra slutsatsen att den nordiska vattenkraften tillsammans med hög överföringskapacitet ger stora möjligheter att bygga ut mycket förnybar elproduktion i Sverige.

Nya produktionssystem ställer krav på robusthet

En generell slutsats från simuleringarna är att en välfungerande elmarknad är en garanti för god leveranstrygghet. Genom handel med omvärlden finns balans de allra flesta timmarna på året, oavsett scenario. Utveckling med mer variabel elproduktion ställer emellertid krav på utveckling av flexibilitet och andra stabilitetsresurser för att systemet ska fungera alla timmar.

I de fyra scenarierna har effekttoppar hanterats på olika sätt. Forte har en effektreserv som är en billig försäkring mot elbrist för industrin. I Legato bygger lösningen på efterfrågeflexibilitet där olika elkunder tecknat sig till abonnemang som tillåter central styrning av effektanvändningen vid svåra situationer. I Espresso tar alla eget ansvar för sin energiförsörjning och samarbetar till viss del lokalt, medan Vivace med sin automatiserade efterfrågeflexibilitet och snabba handel har en marknad som klarar av att hantera alla effektsituationer enbart på marknadens styrsignaler.

Även extrema överskottssituationer kan uppstå i flera av scenarierna, vilket behöver hanteras med export, ökad användning och i vissa fall även spill. I flera scenarier är efterfrågeflexibilitet viktigt, både när det gäller att öka och minska konsumtionen. Mönstret för elanvändning förändras också i vissa av våra scenarier, något som våra simuleringar inte tagit hänsyn till. Flera olika lösningar kommer att behövas för att hantera helt nya driftsituationer.

I takt med intelligentare styrsystem i elnätet blir det också allt viktigare med IT-säkerhet. Svenska kraftnät har tagit fram en rapport som sammanfattar möjliga hot och risker avseende elsystemets funktion⁴⁴. Även upprätthållande av integritet kräver robusta system när våra hem blir allt smartare och mer uppkopplade. Det är därför högst troligt att det behövs nya regleringar, produkter och incitament.

Trygg energiförsörjning kan lösas på nya sätt

Vårt samhälle kommer alltid vara beroende av en trygg energiförsörjning för att upprätthålla viktiga samhällsfunktioner och för att möjliggöra god tillgång till el och värme. Vad som är en trygg energiförsörjning varierar emellertid utifrån olika energianvändares specifika behov och förutsättningar. Det som är tillfredställande för en energianvändare vid en tidpunkt kan vid en annan tidpunkt, eller för en annan energianvändare, vara helt oacceptabelt, så även i våra scenarier. Till relativt höga kostnader har vi i dag mycket få allvarliga störningar eller effektbrist. I framtiden kanske vi kan acceptera en annan nivå på leveranssäkerhet, i utbyte mot andra investeringar eller tjänster. I Legato är till exempel elavtal om bortkoppling möjligt, medan i Espresso kan egna mikronät med egna regler- och säkerhetssystem vara en annan lösning för hög leveranssäkerhet.

44 www.energisakerhetsportalen.se/media/1040/Hotkatalog-fo%r-Elbranschen-MASTER.pdf



Väl fungerande energimarknader, väl kända krishanteringsåtgärder och arbete med att förebygga och lindra störningar är åtgärder som bidrar till trygg energiförsörjning. I flera av vår scenarier kan energianvändarna komma att ta ett större ansvar för att hantera störningar och avbrott genom till exempel mer flexibel efterfrågan, antingen frivilligt genom avtal med användarna som i Legato eller genom helt automatiserade system innan störningen når kunderna som i Vivace.

Beroende på scenario behövs olika metoder och verktyg för att uppnå samma nivå av försörjningstrygghet, och det är nödvändigt att arbeta både strategiskt och operativt med förebyggande och lindrande åtgärder i alla fyra scenarier.

Ökat elberoende i alla scenarier

I alla scenarier ser vi en ökad elektrifiering, vilket gör samhället än mer beroende av fungerande elförsörjning. Av den anledningen behöver både näringsliv, offentlig sektor och hushåll i framtiden öka sin förmåga att förebygga och lindra effekter av störningar eller avbrott i elförsörjningen. Ju mer storskalig elproduktionen är, desto större är också risken för mer omfattande konsekvenser i samhället vid en störning.

Genom samhällets ökade elektrifiering finns risk för att diversifieringen totalt sett minskar i energisystemen, vilket i olika sammanhang kan innebära en ökad sårbarhet. Exempelvis är en bil som bara drivs med el beroende av en fungerande elförsörjning för att laddas, medan en hybridbil som drivs av både el och till exempel biodrivmedel fungerar så länge det finns el eller biodrivmedel. Vid nödlägen kan ett fordon's batteri även användas för andra ändamål, som uppvärmning, laddning av andra elprodukter eller för att lyssna på radio vid nödsituationer.

Vädrets påverkan på elproduktionen

Alla scenarier förutom Forte går mot ett elsystem som i högre grad är väderberoende. Det är viktigt att tänka på att modellerna utgår ifrån ett normalår med viss medeltemperatur och viss nederbörd. Om ett torrår kombineras med ett år med låg vindintensitet och en riktigt kall vinter möter systemet fler utmaningar än dem vi sett i resultaten. Solenergi har god överensstämmelse med elanvändningen på dygnsbasis, men sämre överensstämmelse på årsbasis. För vindkraft är det precis tvärtom. Effektiva lagringslösningar kan bidra till att minimera riskerna för år med väder som avviker från normalår.

Bedömning av miljö och klimat

De fyra scenarierna är explorativa och är inte uppbyggda för att uppnå ett visst mål, till exempel att minska utsläppen av växthusgaser till en viss nivå. I vissa avseenden kanske inte scenarierna heller uppfyller redan ställda mål och ansatser. Scenarierna ger alla samhällets aktörer möjlighet att sätta in åtgärder för att uppnå mål inom ramen för scenarierna – men förutsättningarna för att uppnå mål, samt de olika åtgärdernas prioritet och verkningsgrad skiljer sig mellan scenarierna.

Det finns tre gemensamma områden som är centrala för att klara miljöutmaningarna i alla scenarier:

- stängning av kärnreaktorer
- bostadsbyggande och renoveringar, samt
- användning av biomassa.

Existerande kärnkraftsanläggningar i Sverige tas ur bruk, och ersätts i vissa scenarier med nya anläggningar. Oavsett framtid finns utmaningar i att hantera nedmontering av kärnanläggningar och omhändertagande av radioaktivt avfall. I Sverige finns regler och etablerade system för att säkerställa korrekt hantering, men risker för radioaktiva utsläpp till omgivningen kommer att finnas. Transporter till kärnavfallslager för låg-, medel- och högaktivt material ökar.

Alla scenarier inkluderar både nybyggnation och renoveringar av existerande byggnader i Sverige. Material till byggande behövs och det uppstår byggavfall. Energi- och resursåtgången vid nybyggnation är även den en faktor att räkna med. Det finns en möjlighet att ställa höga krav för energieffektivitet i de nya, alternativt renoverade byggnaderna. Hälsan hos de boende och de som vistas i byggnaderna prioriteras i byggnadsutformningen.

Sverige har stora resurser i form av biomassa från skog och jordbruk, och även långa kuststräckor där vattenväxande biomassa skulle kunna odlas i framtiden. Biomassa är en förnybar, men begränsad resurs, där överuttag kan resultera i förlust och förändringar i ekosystem, hydrologi och klimat. Samtidigt kan fossila resurser ersättas av biobränslen. Fossila resurser har förutom negativa klimateffekter en rad miljöeffekter kopplade till utvinning och upparbetning. I tabellen Möjligheter och risker, sidan 127, listas de främsta miljöriskerna och möjligheterna för respektive scenario. För en fullständig miljöbedömning, se bilaga [Miljöbedömning](#), sidan 156.

Energisystemets direkta utsläpp av växthusgaser

För att få en jämförelse mellan scenariernas utsläpp av växthusgaser har vi räknat om deras användning av fossila bränslen till koldioxidekvivalenter. År 2050 kan vi se en minskning av de fossila utsläppen i energisystemet i alla scenarier jämfört med de fossila utsläppen 2014. År 2050 har Legato lägst utsläpp och Forte har mest utsläpp, främst från industrin och transportsektorn. Vivace har relativt låga utsläpp så länge inte biogena koldioxidutsläpp räknas.

Ökad användning av biomassa påverkar ekosystemen

En möjlighet att minska utsläpp från energisektorn är att ersätta fossila resurser med biomassabaserade motsvarigheter. Möjligheterna är stora i Vivace med teknisk utveckling, men även i Legato där bioraffinaderier och alternativa affärsmodeller etableras, vilket minskar de fossila utsläppen och energianvändningen. Detta kräver dock ytterligare biomassa som råvara i processerna. Den energivolym som kopplas till biomassa i energisystemet återfinns i bilaga [Miljöbedömning](#), sidan 156.

Ökad användning av biomassa i alla scenarier

Ökat uttag av biomassa innebär ett ökat tryck på ekosystemen och risk att störa ekosystemtjänster. Med rätt utformade förvaltningssystem som inkluderar miljö- och naturhänsyn samt relevanta kompensationsåtgärder i kombination med skyddade områden, kan en förvaltning av skogs- och jordbruksmarker ske där både miljö- och produktionsmål uppfylls.^{45 46}

45 de Jong, J., C. Akselsson, H. Berglund, G. Egnell, B. Olsson, H. von Stedingk, R. Sörensen, L. Lönnberg and K. Gerhardt (2011). Konsekvenser av ett ökat uttag av skogsbränsle. En syntes från Energimyndighetens bränsleprogram 2007–2011. J. de Jong and H. von Stedingk ER 2012:08, Energimyndigheten, Eskilstuna, pp 228.

46 Framstad E., Berglund H., Gundersen V., Heikkilä R., Lankinen N., Peltola T., Risböl O. and Weih. M. (2009) Increased biomass harvesting for bioenergy – effects on biodiversity, landscape amenities and cultural heritage values. TemaNord 2009:591. (<http://www.norden.org/en/publications/publications/2009-591>).

Scenariernas relation mot existerande klimatmål och visioner

Sverige har flera mål och visioner som man önskar nå i ett medellångt och långt tidsperspektiv. Scenarierna kommer i olika utsträckning kunna uppfylla dessa mål och visioner.

EU:s klimat- och energimål till 2030

EU arbetar för att minska klimatpåverkan på en rad olika sätt. Nya mål för perioden fram till 2030 beslutades 2014. De bindande målen för 2030 är att minska växthusgasutsläpp med 40 procent och att andelen förnybart ska nå nivån 27 procent jämfört med nivån 1990. Avseende energieffektivitet anges att den ska öka med 27 procent relativt ett referensscenario. Detta är dock inte bindande mål.

De nya målen har ännu inte brutits upp i nationella mål. Alla scenarier klarar de övergripande kraven men då Sverige med stor säkerhet får högre mål undersöker vi i stället de redan existerande nationella målen i Sverige.

Fossilfri fordonsflotta

Sedan 2009 finns transportpolitiska mål som avser att Sverige ska ha en fordonsflotta som är oberoende av fossila bränslen⁴⁷. I scenarierna minskar fossilberoendet, men det är endast i Legato som transporter sker uteslutande med andra bränslen än fossila år 2035. I både Espresso och Vivace finns en drivkraft för bra tekniska lösningar. Detta gör att möjligheterna är stora att ytterligare minska fossilberoendet i båda dessa scenarier. För Forte kommer utmaningarna ligga i att etablera ekonomiska incitament för transportbränslen som går i linje med tanken om låga energipriser till industrin. Elfordon kommer bli attraktiva i och med teknikutveckling och ett acceptabelt elpris.

I Forte, Espresso och Vivace är fordonsflottan inte fossilfri. Det behövs ytterligare åtgärder utöver dem som redan finns i scenarierna för att stimulera nya transportlösningar baserade på icke fossila drivmedel. Den största utmaningen för att nå detta mål finns i scenario Forte.

47 Regeringens proposition 2008/09:93 "Mål för framtidens resor och transporter".



Netto-nollutsläpp 2050

I den klimatpolitiska debatten finns visionen om att nå en situation där Sverige har utsläpp av växthusgaser med en netto-nollbelastning. Det innebär bland annat att vissa utsläpp från en sektor kan balanseras med en långvarig inbindning av kol, så kallat negativt utsläpp, från en annan sektor. Skogsbruket har en viktig funktion i och med den ökade inbindningen av kol i biomassa i skogen. Omfattningen av hur stora dessa negativa utsläpp kan vara i framtiden är svårt att bedöma men de kommer att spela en viktig roll i scenarierna.

Utifrån resultaten för växthusgasutsläpp från energisystemet kan vi se att Legato är det scenario som uppvisar störst minskningar direkt kopplade till energisektorn. Även Vivace uppvisar stora minskningar mot dagens situation, och det behövs enbart begränsade ytterligare åtgärder för att minska direkta utsläpp. Forte och Espresso kräver däremot betydande åtgärder för ytterligare utsläppsminskningar. Kopplingen till transportsektorn är viktig då stora delar av utsläppen kommer från fossila drivmedel.

I alla scenarier ökar användningen av biobränsle relativt dagens situation. Potentiellt kan detta ge upphov till klimatpåverkan, både positiv och negativ, om kolbalanser⁴⁸ och markanvändning påverkas. Om mer kol binds i biomassa genom till exempel effektiv skogsskötsel så skapar det en positiv effekt, men om kol däremot frigörs till atmosfären via till exempel att totala mängden stående biomassa minskar, får vi en negativ påverkan. I bland annat Vivace är användningen av biomassabaserade bränslen högre än i dag vilket kommer ha påverkan på kolinbindning. Om kolinbindningen i skogens biomassa minskar även i andra scenarier så påverkar det möjligheten att uppnå netto-noll-målet i negativ riktning och tvärt emot om den ökar. Fossila bränslen ger i alla lägen upphov till en negativ påverkan. Frågan om import av energiresurser är central då effekterna från utvinning och produktion av dessa importerade bränslen inte påverkar utsläppen i Sverige.

48 Kolbalanser avser hur kol-atomernas kretslopp i ekosystemen påverkas. Om kol binds i biomassa "lagras" kolet in. I Sverige är vår skog en viktig kolsänka där kol binds i biomassan.

Potentialen för olika former av lösningar som binder koldioxid, till exempel koldioxidinfångning och -lagring, är stora i framför allt Forte och Vivace då det i Forte med större sannolikhet finns punktkällor med utsläpp och i Vivace finns drivkrafter för att applicera nya tekniska lösningar och innovationer. Olika former av klimatkompensation i andra delar av världen kommer att kunna utnyttjas i alla scenarier.

Klimatavtalet i Paris 2015

Den överenskommelse som nåddes i Paris, där världens länder kom överens om att arbeta för att begränsa den globala uppvärmningen till väl under två grader och sträva efter att begränsa den till 1,5 graders uppvärmning, ställer krav på hur Sverige utvecklar sitt energisystem i framtiden. Miljömålsberedningen beskriver i sitt delbetänkande från 2016 att minska utsläppen till 2045 måste ske med 85 procent av utsläppsnivån som Sverige hade 1990⁴⁹ för att kunna närma sig Parisöverenskommelsens mål, och att ett system för att skapa negativa utsläpp måste användas för att nå en netto-nollsituation.

Med utgångspunkt i detta bör det svenska energisystemet uppvisa utsläpp om max 10 miljoner ton koldioxidekvivalenter per årsbasis år 2050. Scenario Legato ligger väl under denna nivå och Vivace ligger i linje med denna nivå. Forte är det scenario som har längst till 85 procents minskning. Åtgärder kan göras i alla scenarier för att ytterligare minska utsläppen. Koldioxidinfångning ses som en nyckelteknologi, både kopplat till fossila utsläppskällor och för anläggningar som använder biobränslen. I perspektivet av Parisöverenskommelsen kommer frågan om konsumtion och fotavtryck i andra delar av världen bli relevant. Vår konsumtion kan driva på klimatpåverkan utomlands, men kan även verka i motsatt riktning om konsumtionsmönster ändras.

I Forte och Espresso kommer ytterligare åtgärder krävas för att närma sig 1,5 gradersmålet. Reduktion av växthusgasutsläpp från den svenska energisektorn kan uppnås via teknikskiften och skifte av bränsle, ytterligare effektiviseringsåtgärder och olika former av koldioxidavskiljning eller -lagring. Förändrad samhällsplanering, förändrade vanor och styrning av beteenden för till exempel transporter och boendeutformning kan också ge viktiga tillskott.

49 Delbetänkande av Miljömålsberedningen "Ett klimatpolitiskt ramverk" SOU 2016:21.

För att uppfylla befintliga mål och visioner krävs i framför allt scenarierna Forte och Espresso ytterligare kraftiga politiska insatser. Om vi ser på vad ett 1,5 gradersmål skulle innebära för Sverige är det Legato och Vivace som uppfyller kraven.

FN:s 17 globala mål för hållbar utveckling

Sveriges energisystem påverkar ekosystem och samhälle både nationellt och i andra länder. Tidigare avsnitt i miljöbedömningen har framför allt fokuserat på effekter inom Sveriges gränser, men inte fångat in effekter i andra länder fullt. FN:s generalförsamling antog i september 2015 17 globala mål för hållbar utveckling, vilka syftar till att driva på och styra arbetet för en hållbar utveckling.

Vår utrednings fyra scenarier knyter an till FN:s utvecklingsmål i olika stor utsträckning. Varje scenario har drivkrafter som kan kopplas till specifika hållbarhetsmål. I Forte är ekonomisk tillväxt viktig vilket återfinns i mål 8 – anständiga arbetsvillkor och ekonomisk tillväxt. För Legato är rättvisa och resursfördelning centralt vilket kopplar till mål 12 – hållbar konsumtion och produktion. I Espresso är kopplingen till specifika mål mindre, men mål 3 – god hälsa och välbefinnande, ligger nära drivkrafterna. I Vivace är det mål 9 – hållbar industri, innovation och infrastruktur som kopplar mest till drivkrafterna.

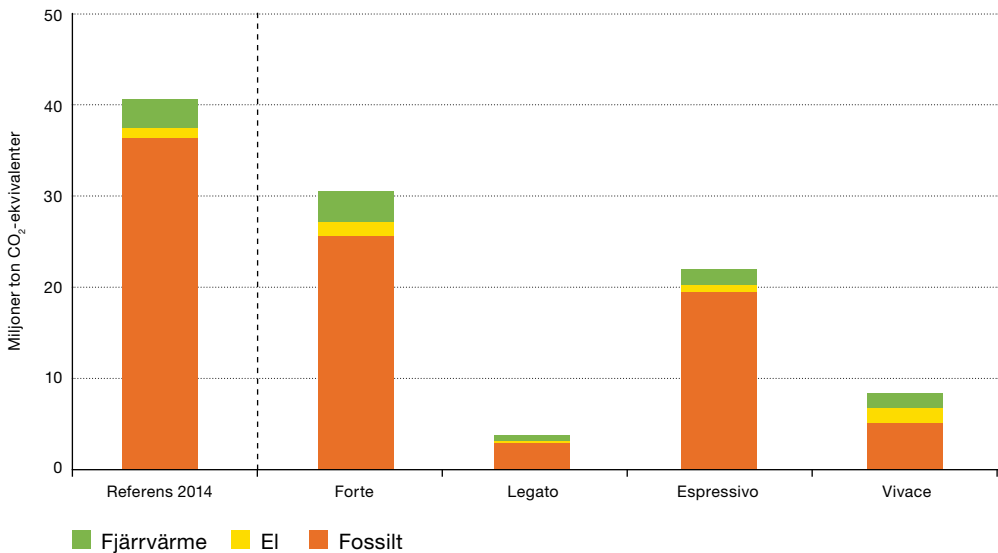
De globala målen för hållbar utveckling ställer upp viktiga ramar för att styra strategiska val och ger en möjlighet att inkludera effekter utanför Sveriges och EU:s gränser. Sverige är en del av ett globalt system där handel med varor och tjänster sker kontinuerligt. De energisystem som beskrivs i denna rapport ger upphov till efterfrågan på resurser och tjänster som inte enbart har ursprung i Sverige. Import påverkar andra delar av världen – en påverkan som både kan ge positiva effekter i form av till exempel arbetstillfällen och skatteintäkter till staten och negativa effekter i form av till exempel utsläpp av växthusgaser eller annan negativ miljöpåverkan.

Våra scenariers största möjligheter till positiv global påverkan handlar främst om export av innovationer, klimatnyttiga produkter och miljöteknik. När vi ställer om till fossilfri industri och transportsektor utvecklar vi tekniker för elproduktion och samhällen med låg klimatpåverkan. Nya lagringsmetoder, klimatsmart byggande och resurs- och energieffektiv användning kan ge än mer positiva effekter om teknikerna används globalt. Men även frågor som rör organisation och skapande av hållbar samhällsplanering samt affärsmodeller för hållbart näringsliv kan fungera som inspiration och ge påverkan globalt. Dessa möjligheter kan alla ge positiva bidrag till en rad av utvecklingsmålen, både direkt och indirekt, om de realiseras.



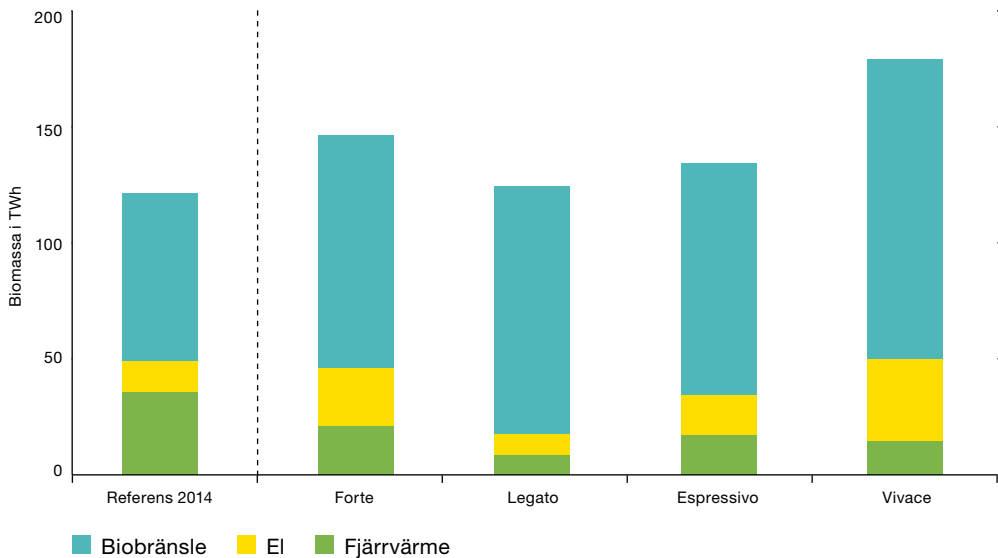
Jämförelser av miljö- och klimataspekter

Fossila utsläpp i koldioxidekvivalenter år 2050¹



1 Exklusive fossil råvara som är noll i Legato och Vivace men bidrar med utsläpp i Referens 2014, Forte och Espresso.

Ökad användning av biomassa i alla scenarier



Möjligheter och risker miljö och klimat

Scenario	Möjligheter	Risker
Forte	- Minskad risk för att områden exploateras av vindkraft, vågkraft m.m. - Utsläpp från vägtrafik minskar i och med elektrifiering.	- Ökad mängd transporter. - Ökat behov av uran. - Ökade mängder kärnavfall. - Stora utsläpp till luft och vatten samt avfallsmassor.
Legato	- Användningen av fossila resurser i energisektorn minskar drastiskt redan till 2035. Klimatpåverkan minskar. - Konsumtionen minskar, därmed minskas miljöpåverkan både i Sverige och utomlands. - Cirkulära affärsmodeller med hög grad av återvinning, återbruk och re-cirkulering av naturresurser minskar mängden avfall och uttag av vissa råvaror.	- Nya verksamheter inom bioraffinering och bioekonomi-sektorn kan innebära nya miljöproblem kring utsläpp till luft och vatten. - Landbaserad vindkraft medför risk för ökad påverkan på fågelliv, fladdermöss och insekter. Etablering av servicevägar påverkar landskapsbilden.
Espresso	- Delande av produkter och tjänster kan bidra till minskad total materiell konsumtion. - Stärkt levande landsbygd då skog, jord, vattenområden i kombination med samhällen och städer ger värden till de boende.	- Risk för försämrad resurs-hushållning och suboptimeringar i energisystemet med fler mindre anläggningar, smarta system och en mer decentraliserad struktur. - Ökad risk för fossilt beroende och stora utsläpp till luft som effekt av individuellt bestämmande inom både transportsektorn och inom bostäder.
Vivace	- Ändrade resursbehov i energisystemet. Teknikförbättring kan ge positiva miljö- och climateffekter. Bland annat kan resursåtervinning, energieffektiva tjänster och produkter stimuleras. - Med den tekniska utvecklingen följer möjlighet för tekniska genombrott som potentiellt skulle kunna revolutionera resurshantering och energisystem. Lagrings-möjligheter, konvertering av solenergi till hanterbara energi-bärare, eller kärnkraft (fusion och tekniksprångsfission).	- Biomassa står för en viktig resurs både inom industrin och inom transportsektorn. Ökad risk för negativ påverkan i skog och jordbruksmarker. - Ökad risk för att reglering och miljölagstiftning inte hänger med i utvecklingen. - Risk för större omsättning av företag, ökade behov att säkerställa att företagsavvecklingar sker med hänsyn tagen till miljöpåverkan.

Kvalitativ kostnadsbedömning

Alla scenarier förutsätter betydande investeringar av olika slag. En kvantitativ uppskattning av de totala investeringarna har vi valt bort, eftersom det i samtliga fall handlar om komplexa scenarier med många parametrar att ta hänsyn till. De kostnader som tas upp har en mycket direkt koppling till energiområdet. Beräkningar av samhällsekonomiska kostnader orsakade av bland annat ineffektiv resursallokering och minskad konsumtion har inte gjorts inom ramarna för den här utredningen.

I Forte sker stora investeringar i dels ny och uppgraderad kärnkraft och dels i elvägar med tillhörande infrastruktur. Kostnaderna för denna utveckling kommer i stor utsträckning att bäras av staten, men samtidigt sker en del produktutveckling genom privata aktörer. I Forte är investeringsutvecklingen främst statsdriven och påminner i sina huvuddrag om utvecklingen under första halvan av 1900-talet, då staten mycket aktivt deltog i utbyggnaden av stora infrastrukturprojekt.

Även i Legato sker en statsledd utveckling, men i form av minskade investeringar i vissa befintliga strukturer. Samtidigt sker en uppbyggnad av andra strukturer, som till exempel flerfiliga cykelvägar och en omdaning av stadsplaneringen. Både inkomster och utgifter minskar, och en ny intäktsmodell för staten måste utarbetas.

I Espresso sker en kraftig förskjutning av finansieringsansvar från stat till regioner, kommuner och individer. Det är sannolikt att dessa aktörer även står för den lokala förstärkning av exempelvis elnät som kommer att bli aktuell i scenariot, liksom också andra energirelaterade investeringar. Eftersom lösningarna i huvudsak är lokala är det svårt att försöka bedöma konsekvenserna för helheten. Det kan inte uteslutas att totalkostnaderna blir högre i detta scenario än i de andra, eftersom liknande investeringar görs på flera ställen parallellt med varandra och eftersom kostnadsaspekten kan tvinga aktörerna att välja mindre ändamålsenliga lösningar.

Vivace präglas av mycket omfattande investeringar från både stat och näringsliv. I detta scenario måste man dessutom räkna med betydande avskrivningar, eftersom många nya tekniker inte kommer att få genomslag. Någon form av statliga garantier behövs, antingen för producenter eller för investerare i infrastrukturrelaterade projekt.

Samtliga scenarier är alltså förknippade med omfattande och till stor del okända kostnader. Det finns anledning att påpeka att många av kostnaderna även skulle uppstå ifall man inte aktivt gick in för något av scenarierna, utan fortsatte med dagens planer.

Känslighetsanalys av kritiska omvärldsfaktorer

En utgångspunkt i våra scenarier är att omvärlden förutsätts vara mer eller mindre densamma, medan det som orsakar skillnaderna mellan dem främst är opinion och politik. Den gemensamma men föränderliga omvärlden har beskrivits i avsnittet Gemensamma förutsättningar i de fyra framtiderna. För att bedöma hur robusta eller känsliga de skilda scenarierna är för omvärldsförändringar har vi gjort en känslighetsanalys för ett antal variabla omvärldsfaktorer. De omvärldsfaktorer vi har analyserat är inverkan av globala klimatavtal, EU:s roll och påverkan på Sverige i de fyra framtiderna, följderna av en global finanskris och även hur en allvarlig störning av energimarknaderna påverkar scenarierna. Vi har även testat hur det politiska beslutet om att återreglera och åternationalisera marknaden påverkar våra scenarier.

Ett ändrat säkerhetspolitiskt läge skulle allvarligt påverka samtliga scenarier när det gäller exempelvis handel, informationssäkerhet och produktionskapacitet. Ingen detaljerad analys av detta ingår i utredningen men är en viktig omvärldsfaktor, och en fördjupad analys vore intressant som ytterligare arbete. Nedan finns en sammanfattning av resultaten, en mer detaljerad analys återfinns i bilaga [Känslighetsanalys omvärldsfaktorer](#), sidan 156.

Test av omvärldsfaktorer

	 Forte	 Legato	 Espressivo	 Vivace
Starkt klimatavtal	Försvagar scenariot ↓	Stärker scenariot ↑	Liten påverkan på scenariot	Stärker scenariot ↑
Klimatförhandlingarna kollapsar	Liten påverkan på scenariot	Försvagar scenariot ↓	Liten påverkan på scenariot	Försvagar scenariot ↓
Starkt EU	Kan både förstärka och försvaga scenariot ↑ ↓	Kan både förstärka och försvaga scenariot ↑ ↓	Kan både förstärka och försvaga scenariot ↑ ↓	Kan både förstärka och försvaga scenariot ↑ ↓
Svagt EU	Försvagar scenariot ↓	Försvagar scenariot ↓	Liten påverkan på scenariot	Försvagar scenariot ↓
Global finanskris	Försvagar scenariot ↓	Försvagar scenariot ↓	Försvagar scenariot ↓	Försvagar scenariot ↓
Allvarlig störning av energileveranserna	Försvagar scenariot ↓	Försvagar scenariot ↓	Försvagar scenariot ↓	Försvagar scenariot ↓
Elmarknaderna återregleras och åternationaliseras	Stärker scenariot ↑	Försvagar scenariot ↓	Stärker scenariot ↑	Stärker scenariot ↑
Elmarknaden blir helt fri	Stärker scenariot ↑	Liten påverkan på scenariot	Liten påverkan på scenariot	Stärker scenariot ↑

Ett starkt globalt klimatavtal skulle försvaga utvecklingen i Forte, eftersom samhället inte är förberett för åtstramningar av utsläpp. Vivace skulle å andra sidan få ett lyft eftersom den globala efterfrågan på klimatsmarta lösningar skulle öka. En kollaps i klimatarbetet skulle försvaga Legato och Vivace då de har starkt klimatfokus.

Ett starkt EU skulle dels kunna förstärka alla scenarier, beroende på om EU-politiken följer scenariots inslagna väg, men även kunna försvaga alla scenarier om de svenska särintressena hotas. Fortes och Vivaces satsningar på industri respektive innovationer skulle kunna klassas som otillåtet statsstöd. Ett svagt EU och frånvaro av gemensamt regelverk försvagar scenarierna på olika sätt; Vivaces export blir lidande, Fortes industri kanske hotas av andra länders där produktionen sker på mer miljöbelastande sätt.

En global finanskris skulle försvåra investeringar i Fortes kärnkraft, Vivaces innovation, möjligheterna för Espressivos individuella lösningar eller Legatos omställning till en fossilfri transportsektor. Samtidigt kan Legatos resurssnåla ekonomi få större gehör globalt, och tron på att cirkulär ekonomi och en jobbskapande andrahands- och lånemarknad kan öka. En allvarlig störning av energimarknaderna inverkar negativt på utvecklingen i alla scenarier.

Om elmarknaden återregleras och åternationaliseras skulle samtliga scenarier utom Legato stärkas. Sverige har en stor inhemsk elproduktion och det svenska elpriset skulle därigenom kunna sänkas. Legato är det scenario som är mest beroende av import från utlandet vid ansträngda lägen, och skulle behöva anpassa sin elproduktion eller sina lagringsmöjligheter. En elmarknad som släpps helt fri skulle stärka näringslivet i Forte och Vivace, medan Legato och Espressivo skulle påverkas i mindre grad.

I känslighetsanalysen reagerar samhället på en yttre förändring eller störning av något slag. Hur respektive scenario lyckas hantera denna förändring beror på scenariots tidigare utveckling och inriktning. Vissa omvärldsförändringar har potential att omkullkasta utvecklingen i ett scenario medan ett annat är relativt opåverkat eller stärks i sin utveckling. Att identifiera potentiella ”game changers”, utarbeta handlingsplaner och anpassa sig till omvärldsförändringarna är centralt för att kunna fortsätta driva utvecklingen i den riktning man vill, trots en föränderlig omvärld.

Diskussion

Varje framtid vi målat upp har sina egna utmaningar beroende på samhällsförändringar i olika riktningar. Det finns givetvis andra möjliga utvecklingar för dessa scenarier än de som vi beskrivit.

Beroende på vilken prioritering som har följts i scenarierna får våra fyra framtider olika specifika möjligheter men också specifika utmaningar att hantera. Efter att ha analyserat och utvärderat våra scenarier ser vi behovet att lyfta nedanstående frågor till den diskussion vi vill starta med politiker, beslutsfattare, energiaktörer och allmänheten.

Samhällsplanering är A och O

Den samhällsplanering som görs i dag och i morgon har en central plats i alla våra scenarier, då den avgör på vilket sätt vi använder energi i framtiden. Vilka politiska beslut är nödvändiga för att komma närmare en specifik framtid?

I Forte är satsningarna på energiförsörjning och infrastruktur storskaliga. Staten har en aktiv roll i samhällsplanering för dessa. I Espresso ser vi motsatsen, där staten underlättar för alla möjliga samhällsaktörer att vara aktiva i samhällsplaneringen. Legatos samhällsplanering skiljer sig från dagens på flera avgörande punkter, inte bara i synen på hur stadens ytor ska användas utan även gällande resurseffektivisering och som svar på de beteendeförändringar vi ser bland befolkningen. Fler kollektiva ytor och mindre utrymme för personbilar inne i städerna är två speglingar av Legato i samhällsstrukturen. I Vivace satsar stat och företag gemensamt på ny teknik, vilket ändrar framförallt transportsätten i denna framtid, och tekniken får styra samhället med en ökad flexibilitet av hur samhällets ytor används som resultat. Ökat samarbete mellan stat och kommun i utformning av samhällsplaneringen är också avgörande för att styra hur energianvändningen kommer att se ut.

Hur ställer Sverige om till ett fossilfritt transportsystem?

För att fossilfria inrikestransporter ska kunna genomföras i våra scenarier behöver det ske stora förändringar av tillförsel och användning av energi i transportsektorn under mycket kort tid. En så snabb omställning förutsätter att alla typer av åtgärder som bidrar till omställningen genomförs.

Omställningen ställer stora krav på alla aktörer i systemet, från politiker och andra beslutsfattare till alla de teknikleverantörer som är involverade i omställningen och enskilda konsumenter som också måste bidra.

Ett stort arbete måste göras för att minska energianvändningen, dels genom effektivisering, dels genom olika typer av insatser som minskar transportbehoven. Det handlar bland annat om mer kollektivtrafik och effektivare logistiklösningar. För att ställa om fordonsflottan premieras olika hyr- och poollösningar för att säkra att färre fordon används men utnyttjandegraden av dem är mycket högre. Detta gör att fordonen kan bytas ut oftare och att ny teknik och nya drivmedel lättare kan introduceras. Genom att effektivisera och elektrifiera en del transporter kan den tillförda mängden energi i transportsystemet minska med ungefär en tredjedel jämfört med i dag.

Redan innan 2020 måste ett politiskt beslut fattas om att alla fossila drivmedel ska fasas ut och en åtgärdsplan måste tas fram med alla typer av statliga insatser som krävs för att nå målet. De huvudsakliga utmaningarna som identifierats är:

- Tiden fram till 2030 är kort i relation till den stora utbyggnaden och de stora investeringar som krävs för en omställning till ett fossilfritt transportsystem.
- För att en utbyggnad av storskalig produktion av biodrivmedel ska vara möjlig krävs någon form av säkerhet för investerare.
- En mindre del konventionella fordon med förbränningsmotorer för bensen och diesel som bilar, traktorer och arbetsfordon kommer att finnas kvar år 2035 och måste kunna förses med förnybara drivmedel.

Inrikes flyg och sjöfart en nöt att knäcka

Användning av fossila bränslen inom flyg och sjöfart är i dag i princip 100 procent. Dessa transporter utgör en ökande del av klimatpåverkan från transportsektorn. För vägtransporter finns flera incitament, som till exempel koldioxid-skatt, som driver på en omställning. Elektrifiering, användning av biodrivmedel och ett minskat transportarbete är åtgärder som kan införas.

Det finns goda möjligheter att från politiskt håll påverka inrikesflyget. För att alla transportslag ska ha samma konkurrensutsättning går det till exempel att införa en skatt på inrikesflyg för att få en jämnare beskattning mellan inrikes transportslag.

När det gäller sjöfarten kan regeringen införa nationella stöd för att få branschen att minska sina utsläpp. Att införa mer omfattande hastighetsbegränsningar och att ge stöd till biodrivmedel inom sjöfart är några exempel som kan bidra till en minskad bränsleanvändning och därmed minskade utsläpp.

Utrikes flyg och sjöfart – främst en internationell fråga

Utrikes transporter har ökat mycket och ökar även i de flesta av våra scenarier. Internationella samarbeten är viktiga för att minska användningen av fossila bränslen inom utrikes sjöfart och flyg. Men när det gäller utrikes transporter finns i dag få incitament för att ställa om. Vid nästa justering av de globala klimatavtalen kan Sverige verka för att inkludera sjöfart och flyg för att få igång internationella samarbeten och lösningar. Finns inte internationella samarbeten inom utrikes sjöfart och flyg är det stor risk att det fossila beroendet kvarstår i utrikes transporter.

Sverige kan bidra till att minska sjöfartens klimatpåverkan genom att effektivisera lärandet inom sjöfarten genom att främja samarbetet mellan rederier för att utbyta erfarenheter. Ett annat exempel för att minska klimatpåverkan är att bidra till att utveckla forskning och innovation inom fartygsdesign och inom utveckling av bränslen. Möjliga tekniker för en fossilfri sjöfart är till exempel biogasdrivna fartyg, fartyg med egna mindre modulära kärnkraftverk, att ersätta fossil olja med bioolja, soldrivna fartyg och hybriddrivna segelfartyg.

Flyget, vars kostnader för bränslen redan i dag är stora, skulle kunna minska sina fossila utsläpp genom att till exempel tillverka lättare flygplan och byta bränslen till biobränslen, samt forska om och utveckla eldrivna flygplan. Men då antalet flygplanstillverkare är litet och livslängden på flygplan är lång krävs en lång tid för omställningen.

Då det i dag saknas internationella incitament, förutom ett klimatavtal som kan utvecklas, och Sverige har liten rådighet över utrikes transporter, har vi inte i något av scenarierna antagit att utrikes transporter helt ställts om till fossilfritt. Ett lågt pris på fossila bränslen försenar omställningen, men politiker måste hitta internationella incitament för att ställa om transportsektorn. Ett minskat antal transporter, genom till exempel en ökad teknikutveckling och digitalisering globalt sett, är också en nyckel för att minska beroendet av fossila bränslen.

Hur påverkas vi av övriga Europas elproduktion?

Vilken typ av energiförsörjningssystem resten av Europa skapar och hur stort, är avgörande för hur det svenska energisystemet optimalt ska utformas. Om länder som är ihopkopplade med den svenska elmarknaden till exempel bygger ut mycket förnybar el kan det resultera i att elpriset sjunker och det blir mindre lönsamt att bygga ut dyrare produktion i Sverige, som havsbaserad vindkraft eller ny kärnkraft. Även exportmöjligheterna minskar. Alla våra simuleringar visar på ett långsiktigt högt elpris under perioden 2035 till 2050. Detta beror i modellerna på en hög europeisk efterfrågan på el i kombination med ökad överföringskapacitet mellan Sverige och kontinenten.

Elprisets framtida nivå påverkar utvecklingen av energisystemet

Ett lågt elpris i paritet med dagens (20 öre/kWh) kan göra att produktion läggs ner innan den tekniska livslängden har nåtts, och att investeringar i nya anläggningar uteblir. Höga priser (80 öre/kWh) kan göra att elanvändning minskar eller att industrier flyttar. Det är inte långsiktigt hållbart att ha extrema prisnivåer. Vilken nivå på elpriset är långsiktigt rimlig för att säkra produktionskapacitet och samtidigt främja energieffektivisering?



En satsning på enbart förnybar elproduktion eller en utbyggnad av kärnkraften kräver båda stora investeringar. Med ett lågt elpris behöver dock alla produktionsslag som ska byggas någon form av stöd för att en investering ska vara ekonomiskt möjlig. Om elpriset stiger till långsiktigt högre nivåer blir allt fler produktionsslag lönsamma att etablera med hjälp av enbart elpriset.

Kostnaderna för stöd i ny elproduktion är låga och enligt våra simuleringar har tillgång och efterfrågan (spotpris) en mycket större inverkan på elkundens kostnad än vad stödet har.

Flexiblare elnät och elmarknad en del av lösningen

Beroende på framtidens utveckling kommer elnätet att få olika betydelse. I vissa fall kan det lokala nätet få en mycket större betydelse än i dag, i och med etablering av mikronät och ökad självförsörjning. Då uppstår frågan om vem som ska investera i elnät och hur framtida intäktsmodeller kommer att se ut. Smarta nät förbättrar styrning och leveranssäkerhet av el. Fler elkunder är i framtiden troligen mer flexibla i sin användning, och i takt med att lagringslösningar etableras kan stamnätets funktion komma att minska.

Det nationella stamnätet kan få en minskad betydelse nationellt men en ökad betydelse internationellt som en stor exportör av el i form av reglerkraft till utlandet. Det är en viktig utmaning för staten att anpassa sig till dessa förändringar och samtidigt styra och planera för större infrastruktur-satsningar, fysisk planering och ändringar av regelverk.

Systematisk och ökad energieffektivisering en del av lösningen

Energieffektivisering framställs allt mer som ett ”bränsle” i sin egen rätt: I IEA:s rapport [Energy efficiency market report](#)⁵⁰ visas att energibesparingarna inom IEA-länderna år 2011 var större än tillförseln från något annat enskilt bränsle (inklusive kol, olja, gas och el), tack vare pågående energieffektiviseringsåtgärder. Energieffektivisering kallas av denna anledning ibland ”the first fuel”.

⁵⁰ IEA 2013] Energy Efficiency: Market report 2013: Market trends and Medium-Term Prospects. IEA, 2013.

Energieffektivisering sker delvis genom utveckling och spridning av effektiv ny teknik i de olika sektorerna. Användarsidan ligger i fokus även om energi-effektivisering även handlar om produktion och distribution av energi.

Genom systematisk användning av olika styrmedel som teknikupphandling, energieffektiviseringskrav och energimärkning, går det att väsentligt öka både utveckling och spridning av energieffektiva lösningar – från produkter och system likaväl som större lösningar eller infrastruktur som till exempel elvägar.

I Legato, scenariot med den lägsta totala energianvändningen, har energi-effektiviseringen drivits långt. Det finns tydliga och långtgående krav på byggnader och installationer, på industri och elfordon. Genomtänkta och övergripande strategier som kombinerar krav och främjandeåtgärder leder i Legato både till effektiv och totalt sett lägre energianvändning. Även i de andra scenarierna har en energieffektivisering skett. I Vivace och Forte har exempelvis transportsektorn i hög grad effektiviserats med hjälp av elbaserade lösningar.

Andra fördelar med energieffektivisering utöver själva energibesparingen, så kallade flervärden, har också lyfts de senaste åren. Till exempel att mindre bränsleanvändning i bilar orsakar färre utsläpp och kan bidra till en bättre hälsa i städer. En slutsats av detta är att en investeringskalkyl för energi-effektivisering bör försöka ta med alla nyttor i beräkningen för att uppskatta det totala värdet av en eller (paket av) flera energieffektiviseringsåtgärder.

Efterfrågefleksibilitet ger stabilitet i elnätet

Möjligheten att använda elanvändarna för att minska behov av effekt vid topplast är stor. I alla scenarier sker en övergång till elbilar och för Forte och Vivace även till större nät av elvägar. Denna substitution av bränsle från fossilt till el innebär också en stor effektivisering, vilket bidrar till minskningen av energianvändningen i transportsektorn. Ökad användning av kollektivtrafik samt totalt sett minskat antal resor bidrar också.

Inom industrisektorn kan vissa industrier anpassa sin produktion efter eltillgången och pris, och använda restvärme från både industrier, datahallar och köpcentra för att producera fjärrvärme. Förändringarna kan komma av ekonomiska eller miljömässiga skäl, men även som ett sätt att hantera ett elnät med stor variabel elproduktion, främst från sol- och vindkraft.

Utvecklingen inom digitalisering gör det enkelt att koppla från allt utom essentiell elanvändning vid tillfällen då det behövs, som vid effekttoppar. Flexibla användare kan även bidra till minskad energianvändning och energieffektivisering framför allt bland privata hushåll. Efterfrågefleksibilitet innebär traditionellt att en elanvändare skjuter upp sin användning, men kan rätt använt även medföra sparade kilowattimmar.

I framtiden kan man tänka sig progressiva elavtal där kunder går med på att kopplas bort från nätet om det skulle behövas. Detta kan bidra till att öka den allmänna beredskapen för avbrott i elförsörjningen.

Varje framtid har sin utmaning när det gäller elanvändarna, som blir allt viktigare i flera av dem. I exempelvis Legato och Espresso är det en utmaning för elanvändarna att kunna vara så flexibla som möjligt i nät med mycket variabla energikällor. I Forte kanske privatpersonerna har fokus på att minska sin energianvändning av ekonomiska skäl, i Legato kan drivkraften vara mer ideologisk.

Mängden avfall i energisystemet kan bli väldigt olika

Även om den andel avfall som uppstår i Sverige minskar i och med ökad återvinningsgrad och med bättre produktdesign, finns troligen en viss fraktion avfall kvar som inte går att använda på annat sätt än via förbränning till el- och värmeproduktion i framtiden. I alla våra scenarier finns det kvar en viss andel avfall i produktion av värme och el. I några scenarier ökar mängderna avfall jämfört med i dag, och el och värme produceras från både inhemskt och från importerat avfall. En viss andel av detta avfall är fossilt.

Om Sverige avser att importera avfall, vilket vi gör i till exempel Forte och i Vivace från länder som fortfarande har en fraktion av fossilt kvar i sitt osorterade avfall, kommer det antagligen under en längre tid finnas en fossil andel avfall kvar i svensk el- och värmeproduktion. Med hjälp av koldioxidinfångning och -lagring går det att kompensera för utsläppen från avfallförbränning, vilket kräver dels acceptans för tekniken, dels investeringar.

Scenarierna kan fördes med andra energisystem

Då vi utgått från prioriteringar för energins roll i våra olika framtider, och inte önskningar om någon specifik typ av energisystem, skulle andra energilösningar kunna vara aktuella i de olika framtiderna. Fortes stabila elproduktion kan fungera med storskalig kol- eller gaskraft i kombination med koldioxidlagring. Andra sätt är att bygga ut vattenkraften, eller att kombinera mer vindkraft, biokraft och vattenkraft.

I Legato kan till exempel stora satsningar på biokol vara ett alternativ till utvecklingen inom järn- och stålindustrin. Legatos krav på klimatneutral energiförsörjning och minskad råvaruimport kan till exempel bli möjlig genom storskalig produktion av biokraft eller av fjärde generationens kärnkraft, förutsatt att man då definierar kärnbränslet som ”hållbart” och arbetar med att återanvända utbränt kärnbränsle.

Espressivos strävan mot decentralisering och individuella lösningar kombinerat med klimatfokus kan leda till satsningar på fossila bränslen tillsammans med avancerad reningsteknik och koldioxidlagring. Vivaces klimatneutrala energiförsörjning kan bli möjlig genom att satsa på mer vattenkraft, storskalig vågkraft eller fjärde generationens kärnkraft.

I de modeller vi använt har elpriset styrt själva utformningen av elsystemet; kraftslag som är billiga att investera i byggs före dem som kräver större investeringar. Olika styrmedel, som hög koldioxidskatt, påverkar i hög grad vilket produktionsslag som simuleringsmodellerna föreslår att bygga i framtiden.

Trygg energiförsörjning i framtidens energisystem

Oavsett scenario finns det alltid ett behov av trygg energiförsörjning i samhället, för både näringslivet, offentlig sektor och hushållen. Behovet kommer dessutom troligen att öka med ökad integrering av datoriserade styrsystem, i industrier såväl som i våra hem, samt i takt med att andra energikällor ersätts med el, till exempel inom transportsektorn.

Men hur energisystemen i våra scenarier möter de nya behoven, avgörs genom en kombination av politiska beslut, det säkerhetspolitiska läget, teknikutvecklingen och hur våra beteenden och användarmönster utvecklas. Trygg energiförsörjning kan uppnås oavsett energisystem, men det kräver löpande analyser av risker, hot och anpassning av förebyggande och avhjälpande åtgärder.

Kompetens bidrar till forskning och innovation

Många av scenarierna bygger på att Sverige har stark forskning, innovation demonstration och kommersialisering. Ett starkt näringsliv utvecklar också energisystemet. Detta kräver arbetsinsatser från många, framför allt högutbildade människor. Sverige, ett land med liten befolkning globalt sett, måste ta vara på den kompetens som finns bland våra medborgare och kanske behövs arbetskraftsinvandring. Genomtänkta satsningar kan aktivt bidra till att utveckla den kompetens som behövs.

Slutsatser

NR 01

Politik och styrmedel behövs

I alla scenarier är det tydligt att politik och olika styrmedel är nödvändiga för att forma framtiden efter de bestämda prioriteringarna. Även modellkörningarna eller simuleringarna visar att stöd behövs till den teknik man vill använda för elproduktion. Simuleringarnas mest lönsamma val sammanfaller inte alltid med scenariots valda produktionstekniker, som är baserade på en blandning av ekonomiska och politiska prioriteringar.

NR 02

Samhällsplaneringen påverkar framtidens energianvändning

Samordnad planering av infrastruktur och bebyggelse är av största vikt för att fullt ut kunna utveckla ett hållbart samhälle. Hela samhället påverkas av en ändrad inriktning i energipolitiken, vilket blir tydligast i scenarierna Legato och Espresso. Där har samhällsplaneringen aktivt utformats efter nya prioriteringar för till exempel vilket behov människor har av att transportera sig och hur de gör det, vilket är annorlunda jämfört med hur dagens samhälle ser ut. Detta påverkar starkt energianvändningen i dessa scenarier. I Forte och Vivace görs stora satsningar i infrastrukturprojekt som elvägar och snabbtåg, beslut som kommer att ge avtryck på energianvändningen långt in i framtiden.

NR 03

Stor potential för elelexport

I Sverige finns goda förutsättningar för att producera el med låga utsläpp och till låga kostnader tack vare en gynnsam kombination av tillgång till naturresurser. Flera av våra scenarier med olika elproduktionssystem visar god potential för hög elelexport. Det är framför allt Sveriges möjlighet att bygga konkurrenskraftig vindkraft i kombination med vattenkraft och ökad överföringskapacitet som skulle kunna göra den stora exporten möjlig. Möjligen kan även Sverige få en ny roll som exportör av reglerkraft.

NR 04

Sverige påverkas mycket av omvärlden

Energisystemet är inte isolerat, varken från andra energisystem eller från övriga händelser i vår omvärld. Våra scenariers energisystem är alla mer eller mindre känsliga för omvärldsförändringar, beroende på vilken omvärldsförändring som inträffar. Att identifiera potentiella omvärldsfaktorer som kan vara ”game changers”, och kunna anpassa sig till omvärldsförändringarna är centralt för att kunna fortsätta att driva utvecklingen i önskad riktning, trots en föränderlig omvärld.

NR 05

Mer diversifierat energisystem med fler aktörer och tjänster

Många befintliga regelverk och marknader är anpassade för till exempel storskalig elproduktion. I några av våra scenarier utvecklas ett mer diversifierat energisystem med mer decentraliserad och småskalig elproduktion. Energisystemen i några av våra scenarier blir också allt mer integrerade. Samma aktör kan vara både producent, användare och fungera som energilager. Några exempel på ökad integration är industrier som mer aktivt bidrar till att balansera elnätet, byggnader som lagrar värme i fasaden och fjärrvärmenät som lagrar energi genom att omvandla el till värme vid överskottsproduktion. Fler aktörer kommer att involveras i energimarknaderna och digitaliseringen ger upphov till nya tjänster. Lagstiftningen behöver anpassas till dessa förändringar.

NR 06

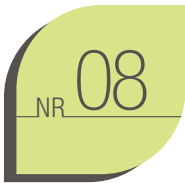
Transportsektorn knyts starkare till resten av energisystemet

I våra scenarier knyts transportsektorn starkare till andra energisektorer i och med ökad elektrifiering av fordonsflottan, etablering av elvägar och genom ökad användning av biodrivmedel. Transportsektorns omställning ger oss flera utmaningar, exempelvis att byta ut fordonsflottan, bygga lämplig infrastruktur och att skapa politiska och ekonomiska incitament för förändring. Detta gör att transportsektorn blir en nyckel i utformningen av ett framtida hållbart energisystem.



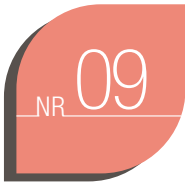
Ökad andel el av energianvändningen

I flera av våra scenarier ökar elberoendet, och ökningen sker i flera sektorer. Dels konverterar industriella processer till el, dels etableras elvägar och fler elfordon tillkommer. En ökad digitalisering och IT-utveckling gör att våra scenarier är ännu mer elberoende. Samtidigt kan elanvändningen snabbt varieras, då fler aktörer snabbare kan anpassa sin förbrukning till elprisets nivå, vilket medför att nya modeller för att styra och beräkna elanvändningen kan behövas.



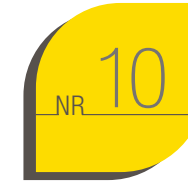
Energieffektivisering möjliggör ett hållbart energisystem

I våra scenarier är energieffektivisering, i till exempel byggnader och industrier och genom minskad bränsleanvändning i fordon, en viktig faktor i omställningen till ett hållbart energisystem. Genom energieffektivisering i energisystemets alla delar kan energianvändningen och energiförluster minska kraftigt, vilket även bidrar till att minska energisystemets miljöpåverkan.



Forskning och innovation för en globalt hållbar framtid

Satsningar på forskning och innovation är en grundförutsättning i våra scenarier. Exempelvis behövs innovationer som möjliggör scenariernas satsningar på biokluster för att bredda våra möjligheter för pålitlig och förnybar elproduktion, en omställning till hållbara transportsystem, biogen koldioxidinfångning och smarta elnät. Det är i flera av våra scenarier tydligt hur sammanlänkad energiforskningen är med klimatfrågan. Forskning i Sverige ger ringar på vattnet även utomlands genom att miljöteknik kan exporteras och nyttiggöras i hela världen. Mer internationell forskningssamverkan och erfarenhetsutbyte kan bidra till att snabba på och minska kostnader för omställningen av energisystemet, både på nationell nivå och om Sverige vill bidra globalt.



Kraftfulla åtgärder krävs för att nå klimatmålen

Om vi ska förverkliga klimatavtalen krävs kraftfulla åtgärder på alla områden för att nå dit. Våra scenarier är explorativa och inte måluppfyllande. Alla scenarierna minskar sina utsläpp jämfört med i dag, men det är bara två scenarier; Legato och Vivace, som minskar tillräckligt mycket för att klara de globala klimatavtalen gällande minskade klimatutsläpp till år 2050 i enlighet med Miljömålsberedningens delbetänkande. De scenarierna innefattar kraftfulla åtgärder, stora satsningar och en stor omställning från det samhälle vi har i dag.



Att uppnå FN:s globala hållbarhetsmål beror starkt på energisystemets utveckling

Våra framtidsscenarier beskriver fyra olika spår i samhällsutvecklingen och de visar tydligt hur utvecklingen påverkar möjligheten att uppnå FN:s hållbarhetsmål i Sverige till 2030. Det är viktigt att energidiskussionerna kopplas till Sveriges implementering av hållbarhetsmålen. Tolv av de sjutton målen har direkt koppling till energisystemet. Att se på Sveriges energisystem, utsläpp och framtida tillväxt som en nationell fråga är inte intressant om vi vill verka på en global arena och bidra globalt till klimat- och hållbarhetsmålen.

FN:s globala utvecklingsmål nummer sjutton innebär att vi ska vitalisera global samverkan för en hållbar utveckling. Att börja den diskussionen med samverkan på hemmaplan är av största vikt. Att sedan fortsätta diskussionen med globala partners inom områdena energi, infrastruktur och transport ger än mer långtgående möjligheter att uppfylla våra internationella mål.

Vägval och utmaningar för energisystemet

I vårt arbete med att komma fram till vår rapport [Fyra framtider](#), har vi tagit fram två andra viktiga underlag inom utredningen Energisystemet efter 2020, [Vägval och utmaningar för energisystemet](#) och [Industrins långsiktiga utveckling i samspel med energisystemet](#). Dessa är av största vikt, och för att skapa en helhet för denna utredning sammanfattar vi resonemangen från rapporterna här.

Som en första del identifierade vi knäckfrågor för energisystemet och samlade dem i rapporten Vägval och utmaningar för energisystemet. De fem kapitlen behandlar energihushållning, elsystemet, bioenergi, transportsystemet och aktörernas roll. För industrins vägval och utmaningar har vi med hjälp av Lunds tekniska högskola tagit fram rapporten Industrins långsiktiga utveckling i samspel med energisystemet.

Energihushållning

Att energieffektivisering är avgörande för att ställa om till ett hållbart energisystem framhålls av flera tongivande aktörer, som IPCC och IEA. Med minskad miljöpåverkan som mål bör fokus vara att effektiviseringar leder till en minskning av total, snarare än relativ, energianvändning. En risk vid effektiviseringar är att den så kallade rekyleffekten motverkar en minskning av den totala energianvändningen, till exempel genom att minskade energikostnader kan leda till en ökad energianvändning, vilket man bör ta hänsyn till vid utformning av styrmedel och åtgärder.

En annan aspekt på effektiviseringsåtgärder är om de bör riktas mot särskilda energislag beroende på mål. Exempel på målkonflikter som kan uppstå är att biodrivmedel kan ha högre primärenergifaktor men lägre negativ miljöpåverkan än fossila bränslen, vilket gör det viktigt att tillämpa ett system- och livscykel-perspektiv på frågan om energihushållning. Något att också ta hänsyn till vid utformning av styrmedel är om några grupper riskerar att missgynnas, till exempel att glesbygdsbor kan ha svårt att minska sitt bilåkande även om skatten på drivmedel höjs.

Livsstils- och beteendeförändringar bedöms vara viktiga/nödvändiga för att minska energianvändningen tillräckligt för att nå klimatmålen. För att möjliggöra beteendeförändringar är det av vikt att det finns samhällsplanering och tekniska lösningar som möjliggör detta, som att stadsplanering gynnar energisnålare transportformer än bilåkande. I stället för att tvinga fram beteendeförändringar kan dessa främjas genom att ”puffa” beteenden i viss riktning, så kallad ”nudging”, alltså direkt återkoppling på energianvändning och information. Även främjande av affärsmodeller inom näringslivet som ökar incitamenten för energihushållning kan bidra till minskad energianvändning.

Elsystemet⁵¹

Det svenska elsystemet står inför en rad förändringar. Stora delar byggdes under mitten av 1900-talet och har nu behov av återinvesteringar. Kärnkraften börjar närma sig sin tekniska livslängd och andelen variabel elproduktion ökar, vilket medför nya vägval och utmaningar för elsystemet.

Utbyggnaden av variabel elproduktion, främst i form av vindkraft, har ökat snabbt i Sverige de senaste åren. Det beror till stor del på elcertifikatsystemet som infördes 2003. Den ökade elproduktionen har lett till god tillgång på el. I kombination med låga bränslepriser har detta resulterat i låga elpriser och press på elproducenter att få verksamheten lönsam. Samtidigt ställer en ökad andel variabel elproduktion ökade krav på elsystemet att balansera produktion och användning.

I det nordiska systemet finns möjligheten till reglering genom flexibel elproduktion i form av vattenkraft. Denna bidrar med stor kapacitet för reglering till ett lågt pris. Andra möjliga bidrag för att balansera elsystemet är energilager, ökad överföringskapacitet och efterfrågeflexibilitet. För att möjliggöra en utveckling av balanseringstekniker är avgörande faktorer exempelvis elprisernas variationer, elmarknadens utveckling och att införa styrmedel.

⁵¹ I rapporten Vägval och utmaningar för energisystemet kallas denna knäckfråga kraftsystemet. Vi har här valt ordet elsystemet.



Om den åldrande kärnkraften ska ersättas med annan produktion behöver även de systemtjänster som kärnkraften i dag bidrar med ersättas. Det handlar om hög tillgänglighet, svängmassa och reaktiv effekt som alla bidrar till elsystemets leveranssäkerhet. I dag finns inga krav eller incitament för ny elproduktion att bidra med dessa systemtjänster, även om det finns teknisk potential för ett större bidrag. Detta väntas förändras i takt med att EU:s gemensamma riktlinjer och nätföreskrifter för anslutning, marknad och drift träder i kraft.

En annan fråga inom elsystemet som måste hanteras är utbyggnaden av småskalig och decentraliserad elproduktion, främst i form av solel, som ansluts till lokalnäten. Mängden solel i Sverige ökar snabbt, om än från låga nivåer. En fortsatt utbyggnad kommer att ställa krav på distributionsnäten att i större utsträckning kunna hantera dubbelriktade effektlöden och spänningstoppar.

Transportsektorn

Transportsektorn är den användarsektor i Sverige som är mest beroende av fossila bränslen. Flera omfattande utredningar har konstaterat att sektorns totala energianvändning måste minska för att det ska vara rimligt att ersätta den fossila energin med biobränslen och förnybar el. Några åtgärder som kan minska sektorns energianvändning är att minska transportbehovet, främja energieffektivare trafikslag och körsätt, samt tekniska åtgärder för att göra fordon effektivare. Stads- och samhällsplanering är viktigt för att minska behovet av transporter.

Det finns dock kritiker som menar att transporter i sig medför en samhällsnytta och inte bör begränsas eftersom de möjliggör mobilitet och valfrihet för privatpersoner och stärker den ekonomiska utvecklingen. Dessa kritiker menar att insatser i stället bör riktas mot utsläppen snarare än själva transportvolymen. Minskade transportvolymen behöver dock inte medföra att tillgängligheten i samhället minskar. Vissa argumenterar för att infrastruktur bör planeras för den nivå av trafikarbete som är förenlig med klimatmålen istället för enligt prognoser om ökande transporter. Byggnation av infrastruktur i sig bidrar enligt detta argument till en ökad trafikvolym, så kallad inducerad efterfrågan.

Valet mellan om el eller biodrivmedel är lämpligast för att ersätta fossila bränslen i transportsektorn beror i hög grad på hur fordonsmarknaden utvecklas i omvärlden, eftersom Sverige är en liten marknad. Fördelar med elmotorer är bland annat hög verkningsgrad och låga lokala utsläpp medan den största utmaningen ligger i batteritekniken. I stora delar av världen är tillgången på hållbart producerad el också en utmaning. Fördelar med biodrivmedel är möjligheter att utveckla nya bränslen även för flyg och sjöfart samt inom nya näringsgrenar för jordbruket. En av utmaningarna är att producera tillräckligt med råvara på ett långsiktigt hållbart sätt.

Det finns olika uppfattningar om satsningar på biodrivmedel bör riktas mot dropin-bränslen som kan användas i distributionssystem och fordonspark som redan finns eller mot rena/höginblandade biodrivmedel, som väntas bli energieffektivare att framställa i framtiden.

Bioenergi

Bioenergi har en avgörande roll för att ersätta fossila bränslen och ställa om till ett hållbart energisystem. Det finns dock många åsikter om hur stor roll bioenergi bör ha i energisystemet eftersom biomassa även behövs för att till exempel producera livsmedel och som industriell råvara. Det finns många aspekter på hur produktion och användning av biomassa ger störst samhällsnytta.

Ett synsätt är prioriteringen att samhället anpassar energianvändningen till vad som är ekologiskt bärkraftigt, det vill säga hur mycket bioenergi som går att ta ut ur skogen utan att till exempel påverka biologisk mångfald, och hur skogen fungerar som kolsänka. Detta kan avgöra hur mycket biomassa för bioenergiändamål som bör produceras.

Alternativt kan politiker välja att i stället fokusera på de miljövinster som kan göras utifrån vad bioenergi kan ersätta i dagens energisystem. Klimatnyttan för olika typer av bioenergi kan bedömas utifrån flera olika aspekter, som till exempel utsläpp vid produktion, effekter av eventuellt förändrad markanvändning, omvandlingsförluster vid produktion av värme, el eller drivmedel, samt förändringar av storleken på skogens ”kolförråd” i systemet.

Det kan ur klimatsynpunkt till exempel vara prioriterat att biomassa används till långlivade produkter som kan fungera som kolförråd, där biomassa till bioenergi bara kommer från uttjänta produkter och restavfall från produktionen.

Ytterligare en aspekt av frågan om hur biomassa ska användas är var i energisystemet den biomassa som bedöms tillgänglig för bioenergi gör mest nytta. Är det inom industrin, inom el- och värmeproduktion eller inom transportsektorn? Kan svensk bioenergi som exporteras göra större nytta i andra delar av världen?

Några tänkbara prioriteringsgrunder är att bioenergi bör användas där den gör mest nytta, att primärenergien utnyttjas så effektivt som möjligt eller att bioenergi bör användas i de sektorer som är mest beroende av fossila bränslen.

Olika aktörers roll i omställningen

Det är många olika aktörer som tillsammans deltar i utformandet av det svenska energisystemet, både aktörer inom den offentliga sektorn som riksdag, regering, myndigheter och olika typer av privata vinstdrivande aktörer. Även privata icke vinstdrivande aktörer som hushållen och olika typer av föreningar spelar en roll.

Historiskt sett har de flesta större förändringar av energiförsörjningen haft stora inslag av statlig inblandning, och ofta närmast fullt offentligt ansvar, som utbyggnaden av vatten- och kärnkraften. I dag råder ofta synen att marknadskrafterna bör få hitta de optimala lösningarna, eventuellt inom ramen för styrmedel. Det finns dock situationer där det kan vara motiverat att det offentliga tar en större roll, till exempel när det gäller forskning och innovation eller investeringar som är nödvändiga för en omställning av energisystemet men som inte alltid är lönsamma på kort sikt. Vanliga typer av styrning är med administrativa styrmedel, som lagar, och ekonomiska styrmedel i form av skatter, men kan även innefatta att underlätta marknadsaktörernas initiativ och samarbeten genom nätverksbyggande eller genom fysisk planering som underlättar hållbara beteenden. Det kommunala planmonopolet har till exempel stor påverkan på transportsektorns energianvändning.

Något som är viktigt för att privata marknadsaktörer ska kunna ta en stor roll är långsiktiga stabila spelregler. Samtidigt måste styrmedel vara så pass flexibla att de kan anpassas till omvärldsförändringar och teknikutveckling. Ett exempel på ett långsiktigt styrmedel är elcertifikatsystemet där aktörerna på elmarknaden vet hur regelverket kommer att se ut en lång tid framöver.

Privata icke vinstdrivande aktörer, som hushåll, spelar en roll genom att de står för en stor del av efterfrågan på till exempel uppvärmning, transporter och andra energitjänster. Det finns dock olika uppfattningar om hur stort ansvar som bör läggas på individen jämfört med den politiska nivån. Vissa hävdar att individens främsta ansvar är att ställa krav på politiska beslut i rätt riktning och att märkning och andra åtgärder inte får ersätta politikernas ansvar.

Industrins utveckling i samspel med energisystemet

Industrin använder en tredjedel av energin och står också för cirka en tredjedel av klimatutsläppen i Sverige. Dess utveckling har därför en central betydelse för både hur energianvändningen ser ut framöver och för hur väl Sverige uppfyller klimatmålen.

Produktionsvolymen inom den energiintensiva industrin är avgörande för hur stor påverkan på energisystemet industrin får i framtiden. Nya sektorer växer fram och nya produkter utvecklas medan andra går tillbaka. Faktorer av betydelse för detta är bland annat arbetskraftens kostnader och kunskapsnivå, tillgång på naturresurser inklusive energi liksom institutionella förhållanden och politiska drivkrafter.

Val av andra energibärare och teknikval är också av stor betydelse för industrins påverkan på energisystemet och dess bidrag till en hållbar utveckling. Möjliga åtgärder för att uppnå en industri med små utsläpp av klimatgaser innefattar material- och energieffektivisering, byte till biobränslen, infångning och lagring av koldioxid samt elektrifiering med förnybar el.

En bedömning av framtiden visar att industrin och energisystemet i Sverige kommer att utvecklas i samspel med varandra. Industrin kan till exempel mer aktivt delta i el- och balansmarknaden och med mer flexibel efterfrågan. Det finns flera alternativa framtider för att skapa nettonollutsläpp inom industrin.



Slutord

I denna scenariostudie har vi målat en bild av fyra möjliga framtider för energisystemet, och belyst möjligheter och utmaningar i dessa alternativa framtider. Vi har även belyst behov av politik och styrmedel, utformning av forskningsagenda och energieffektiviseringsinsatser i de fyra olika framtiderna. Vi har valt scenarierna för att skapa en så bred palett som möjligt för politiker och beslutsfattare att använda sig av i utformningen av det framtida energisystemet.

Vi hoppas vår genomgång av olika synsätt, perspektiv och vägval har väckt nya tankar, som ger underlag till en fortsatt diskussion om hur vi kan välja att gå in i framtiden.

En slutsats av arbetet, är att det energisystem Sverige bygger i framtiden kommer att vara ett resultat av många faktorer. Många av dessa är starkt beroende av olika förändringar i omvärlden.

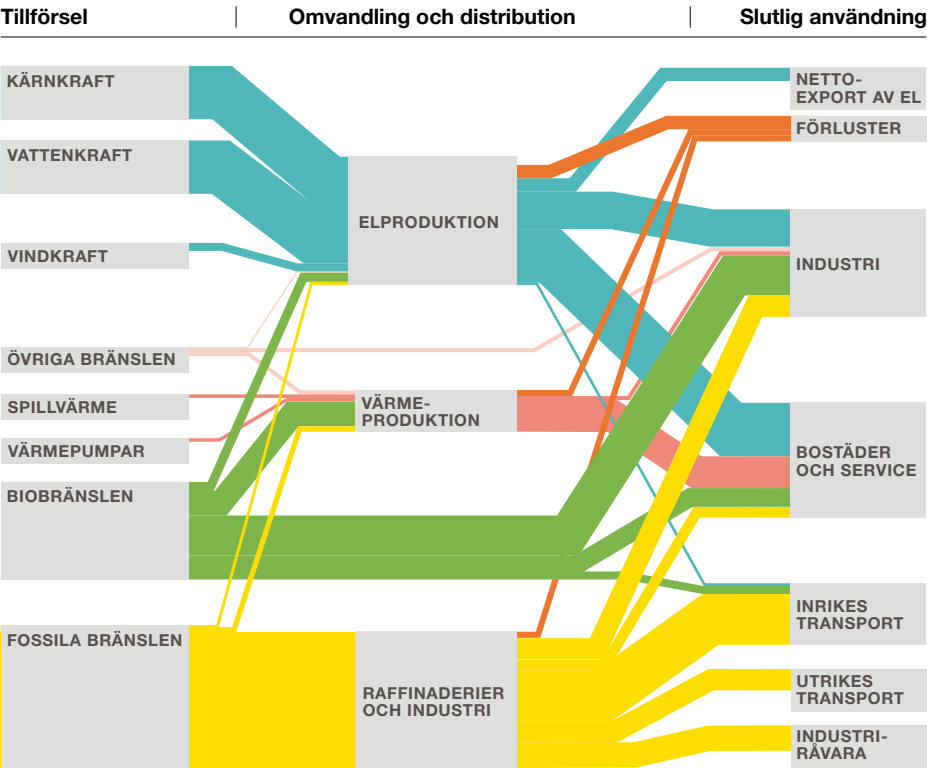
Framtiden går att påverka, men för att göra detta krävs samarbete, handlingskraft och en konstruktiv och pragmatisk dialog. Energimyndigheten har för avsikt att ta en aktiv roll, och hoppas att detta arbete kan bidra till att få fler perspektiv och fler röster i det samtalet.

Bilagor

Bilagorna till [Fyra framtider](#) finns på Energimyndighetens webbplats www.energimyndigheten.se/fyraframtider

- Metodbeskrivning
- Nyckeltal
- Styrmedel
- Elsystemets kostnader – modelleringar
- Miljöbedömning
- Känslighetsanalys omvärldsfaktorer
- Vägval och utmaningar för energisystemet
- Industrins långsiktiga utveckling i samspel med energisystemet
- Energisystemet fram till i dag – statistik

Energisystemet 2014



Vi vill prata framtidsenergi

Med Fyra framtider vill vi ge vårt bidrag till en modern energidialog som tar helhetsgrepp och har samhällsperspektiv. Vi vill ha en energidiskussion som pekar framåt.

Hur ser då framtiden ut? Det finns inte ett svar, utan flera. Vi visar här fyra möjliga framtider för energisystemet. Varje framtid har olika drivkrafter som utvecklar samhället, till exempel säker energiförsörjning, global rättvisa, individualism eller klimatförbättring. Vi kallar dem Forte, Legato, Espresso och Vivace.

Välkommen in i ett nytt och annorlunda samtal om framtidens energi.



Energimyndigheten, Box 310, 631 04 Eskilstuna
Telefon 016-544 20 00, Fax 016-544 20 99
E-post registrator@energimyndigheten.se
www.energimyndigheten.se