

Scenarier över Sveriges energisystem

Vägar till ett energisystem med
nettonollutsläpp 2050

Energimyndighetens publikationer kan laddas ner
eller beställas via energimyndigheten.se

Statens energimyndighet, mars 2025

ER 2025:13

ISSN 1403-1892

ISBN (pdf) 978-91-7993-230-5

Grafisk form: Energimyndigheten (omslag), Arkitektkopia AB (inlaga)

Förord

Vi lever i en osäker värld som präglas av hög förändringstakt, vilket på olika sätt påverkar omställningen till ett hållbart energisystem. Rysslands fullskaliga anfallskrig mot Ukraina har skapat stor oro på de europeiska och globala energimarknaderna. Tidigare givna samarbeten och handelssystem förändras – och försämras, i många fall. Samtidigt pågår en teknikutveckling inom bland annat batterier, elbilar och förnybar el som kraftigt kan minska kostnaderna och skynda på omställningen.

När Energimyndigheten nu publicerar nya långsiktiga scenarier, ser vi att även i en osäker omvärld så sker omställningen till ett hållbart energisystem – nu och framåt. I Sverige finns flera pågående och planerade satsningar inom industrin som syftar till att ställa om från vårt beroende av fossila bränslen. Samtidigt har flera projekt skjutits på framtiden eller lagts ned på grund av bland annat lågkonjunktur och osäkra marknadsförutsättningar för fossilfria produkter. Alla projekt sker alltså inte som aviserat, men det är tydligt vilken riktning vi rör oss i. Energisystemet håller på att omdanas – från grunden.

Omställningen handlar om klimatet, men är också avgörande för Sveriges industris framtida konkurrenskraft, skapandet av arbetstillfällen och vår roll som exportnation. Kommande generationers möjligheter till välbefinnande och tillväxt påverkas stort av hur snabbt vi lyckas bryta vårt samhälles fossilberoende.

De fyra scenarier Energimyndigheten presenterar sträcker sig upp till 30 år framåt i tiden och undersöker alternativa utvecklingsvägar med utgångspunkt i olika antaganden, styrda av olika drivkrafter. Eftersom energisystemet är komplext är utvecklingen beroende av ett stort antal faktorer. Läsaren av rapporten behöver därför vara medveten om utfallsrummet och de olika osäkerheter som är ofrånkomliga i dessa sammanhang.

Energimyndighetens framtidsscenarier är byggda på bästa tillgängliga data och kunskap om både dåtid, nutid, och framtid. Våra scenarier är det mest heltäckande underlaget för analyser kring framtida alternativ. När beslutsfattare och olika aktörer ska välja väg framåt i omställningen krävs förståelse för vilka drivkrafter som är viktiga för att energisystemet ska utvecklas på ett visst sätt. Den förståelsen är avgörande för att Sverige ska fortsätta hålla en hög takt i omställningen – även i framtiden, vilket är en förutsättning för att vårt land ska kunna blomstra.

Caroline Asserup
Tf. Generaldirektör

Innehåll

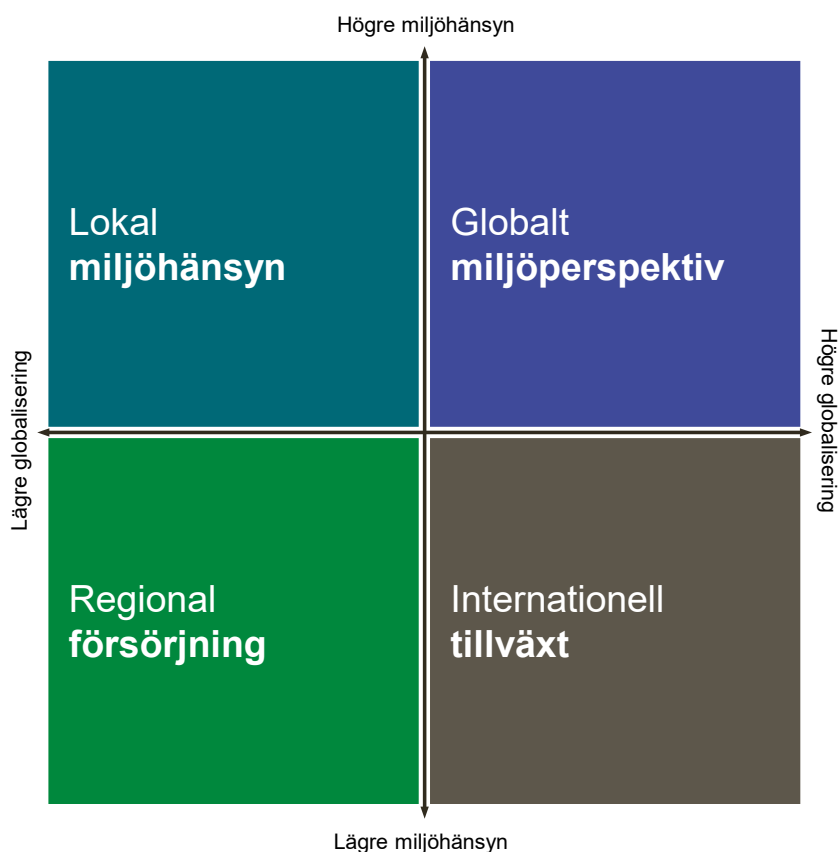
Sammanfattning och slutsatser	4
1 Inledning	10
1.1 Bakgrund och syfte	10
1.2 Framtagandet av scenarierna	11
1.3 Scenarierna utgör en ram och en utgångspunkt för vidare analyser	12
1.4 Avgränsningar	13
1.5 Läsanvisning	14
2 Utforskande scenarier	15
2.1 Förutsättningar för scenarierna	17
2.2 Presentation av scenarierna	18
2.3 Översikt över scenarioantaganden	27
3 Energisystemets utvecklingsvägar	28
3.1 Total energitillförsel och användning	29
3.2 Slutlig energianvändning	31
3.3 Vägen till nettonollutsläpp	33
4 Elsystemets utveckling	35
4.1 Dagens elproduktion och användning	36
4.2 Förutsättningar för ny elproduktion	37
4.3 En elektrifiering av samhället	39
5 Utvecklingen av fossilfria bränslen	49
5.1 Biobränslen utgör mer än hälften av dagens bränsleanvändning	50
5.2 Den inhemska råvarutillgången styrs främst av skogsbruket	51
5.3 En ökad efterfrågan och produktion av fossilfria bränslen	52
6 Utvecklingen för uppvärmning av bostäder och lokaler	60
6.1 Fjärrvärme en viktig del av dagens värmeförsel	61
6.2 Byggtakt och effektiviseringsfokus styr värmebehovet	62
6.3 En uppvärmningsmarknad i förändring	63
7 Stora förändringar i energisystemet oavsett scenario	69
7.1 Fyra olika vägar till samma mål	69
7.2 Huvudbudskap och slutsatser	71
7.3 Scenarierna i förhållande till de energipolitiska pelarna	75

Referenser	79
Bilaga A – Resultatbilaga	80
Bilaga B – Metodbilaga	100
Bilaga C – Beslutad policy scenariorresultat	151

Sammanfattning och slutsatser

I denna rapport presenterar Energimyndigheten fyra utforskande scenarier som visar hur vägen till ett energisystem med nettonollutsläpp 2050 samt de tio efterföljande åren kan se ut. De framtagna scenarierna omfattar hela energisystemet, från tillförsel och omvandling till slutlig användning av energibärare.

Syftet med scenarierna är att öka förståelsen för de möjligheter och utmaningar energisystemet står inför. Det gör dem lämpliga att användas som ett underlag för planering och vidare analyser och scenarierna kommer till sin rätt när de ställs i förhållande till varandra och till de förutsättningarna som formar dem. Inget av scenarierna ska ses som mer rätt eller fel än något annat.



För de fyra scenarierna antogs det att förutsättningarna som styr energisystemets fortsatta utveckling i huvudsak beror på den övergripande graden av globalisering och miljöhänsyn. Kortfattat kan detta översättas till hur global politik och globala skeenden kan tänkas påverka investeringsvilja, kostnader och tillgång på material i Sverige samt hur graden av miljöhänsyn påverkar möjligheten att använda inhemska resurser.

Detta medför att vi ser olika utfall i scenarierna (scenarionamnen i kursiverad text):

- I *Lokal miljöhänsyn* (lägre globalisering, högre miljöhänsyn) är acceptansen för att använda inhemska resurser som påverkar närmiljön begränsad. Kombinationen av lägre globalisering och högre miljöhänsyn gör att även energianvändningen är den lägsta bland alla scenarier. Å ena sidan medför kombinerade krav på minimal användning av fossila bränslen och minimal påverkan på miljön höga energipriser generellt och de högsta elpriserna bland alla scenarier trots låg energianvändning. Å andra sidan är miljövärdena i skog och mark höga.
- I *Globalt miljöperspektiv* (högre globalisering, högre miljöhänsyn) är efterfrågan på fossilfria varor och energibärare mycket hög, både nationellt och internationellt. Samtidigt finns en vilja att i möjligaste mån kombinera hög export av fossilfria varor och bränslen med en så liten påverkan på miljön som möjligt. Det leder till ett scenario som präglas av en anda av samexistens mellan olika intressen. De begränsningar för resursutnyttjande som ändå finns i förhållande till den höga energianvändningen leder till att priserna på fossilfria energivaror ökar och det sker en nettoimport av el.
- I *Regional försörjning* (lägre globalisering, lägre miljöhänsyn) ses en användning av energi som är lägre jämfört med en högre grad av globalisering. Elanvändningen är också lägst bland alla scenarierna. Förutsättningarna för att möta efterfrågan är goda vilket leder till de lägsta priserna på energi och el av samtliga scenarier. Baksidan är ett större beroende av fossila energislag vilket leder till en ökad användning av koldioxidavskiljning och lagring för att kunna nå nettonollmålet samt fler inskränkningar av miljövärden.
- I *Internationell tillväxt* (högre globalisering, lägre miljöhänsyn) ses den högsta användningen av energi i samtliga scenarier, där en stor del utgörs av vätgas för produktion av fossilfria produkter. Samtidigt är förutsättningarna att möta efterfrågan mycket goda. Detta leder till att priser på energivaror, i synnerhet el, kan förbli relativt lågt jämfört med övriga scenarier och en nettoexport av el sker trots det höga inhemska behovet. En konsekvens är dock att fler inskränkningar av miljövärden sker.

Övergripande trender i scenarierna

Ett par större genomgående trender går att urskilja för samtliga scenarier. Dessa trender inkluderar att användningen av fossila bränslen minskar, där slutanvändningen minskar mellan 79–93 procent år 2050 jämfört 2023. Elanvändningen ökar i alla scenarier om än olika mycket. Det sker bland annat en betydande elektrifiering av transportsektorn och en ökande användning av värmepumpar. Landbaserad vindkraft står för den största kapacitetsutbyggnaden och drifttidsförlängning av existerande kärnkraft utnyttjas till fullo. Produktion, export och användning av fossilfria bränslen ökar.

Ny och skärpt EU-lagstiftning får en omfattande inverkan på hela Sveriges energisystem oavsett scenario

Det har hänt mycket inom EU de senaste åren där beslut fattats om flera stora lagstiftningsakter som direkt och indirekt medför en stor förändring av både det svenska och europeiska energisystemet. Ett av de viktigaste styrmedlen för omställning är utsläppshandelssystemet EU ETS¹. Genom att EU ETS ökar priset på fossila utsläpp skapas ekonomiska incitament till omställning inom industrisektorn, energisektorn och inom sjö- och luftfarten. Den förväntade kostnadsökningen för användning av fossila bränslen som kommer av detta driver på stor-

¹ EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS DIREKTIV 2003/87/EG av den 13 oktober 2003 om ett system för handel med utsläppsrätter för växthusgaser inom unionen och om ändring av rådets direktiv 96/61/EG.

skaliga satsningar på fossilfri produktion inom industrin. Sverige har goda förutsättningar att vara drivande i EU:s omställning genom god tillgång på energi till konkurrenskraftiga priser.

Även lagstiftning som driver på en ökad användning av fossilfria bränslen inom transportsektorn för hela EU (såsom förordningarna ReFuelEU Aviation² och FuelEU Maritime³) leder för svensk del till en starkare exportmarknad för biodrivmedel och elektrobränslen. I kombination med att den inhemska efterfrågan också ökar driver detta på produktionen av fossilfria bränslen i Sverige. Detta får konsekvenser för andra sektorer då konkurrensen om biobränsle ökar.

Omställningen handlar därmed för svensk del både om att minska klimatutsläppen och att möjliggöra en konkurrenskraftig svensk industrin och svenska arbetstillfällen. Bedömningen är därför att fortsatt höga klimatpolitiska ambitioner från EU kommer att få genomslag inom hela EU inklusive Sverige. Att EU fortsätter arbeta för höga klimatambitioner och att värna EU-samarbetet är nyckelfaktorer för att Sverige ska nå nettonollutsläpp och för att Sverige ska fortsätta vara relevant som exportnation år 2050.

Fjärrvärmens och kraftvärmens står inför en utmanande omställning på grund av ökad konkurrens om biobränslen

Biobaserad kraftvärme och fjärrvärme minskar kraftigt i samtliga scenarier framför allt till följd av den ökade konkurrensen om biobränslen. Användningen av biobränslen från skogsråvaror för dessa två användningsområden minskar med mellan 68–86 procent fram mot 2050 jämfört med 2023 i scenarierna.

För fjärrvärmens handlar det om en omställning från biomassa till ökad användning av värmepumpar, spillvärme och effektiviseringsåtgärder. För kraftvärmens handlar det om en minskad elproduktion i samtliga scenarier. Elproduktionen från kraftvärmens ersätts i stället av andra kraftslag med helt andra förutsättningar och sannolikt placerad på en annan geografisk plats. En utfasning likt den som ses i scenarierna kan exempelvis medföra en effektproblematik inom lokala nät, som i viss mån kompenseras av små modulära reaktorer i två av scenarierna.

Både fjärrvärmens och kraftvärmens kan medföra nyttor, både från ett lokalt perspektiv och ett beredskapsperspektiv, som inte fullt ut fångas i dessa scenarier. Det är därmed ännu viktigare att dessa nyttor värdesätts på ett korrekt sätt såsom Energimyndigheten bland annat belyst i rapporten *Förslag till en fjärrvärme- och kraftvärmestrategi*⁴. *En förändrad prissättning av dessa nyttor skulle kunna ge ett annat utfall än vad som presenteras i scenarierna i den här rapporten.*

Vägen till nettonollutsläpp kan se mycket olika ut

Trots att alla fyra scenarier når nettonollutsläpp år 2050 skiljer sig vägen dit åt och det är fyra mycket olika energisystem som målas upp. Det handlar om väsentliga skillnader i storleken på elbehovet, behov av vätgasproduktion, inhemsk biobränsleanvändning och sammansättningen av energimixen generellt. Acceptansen för att utnyttja naturresurser, acceptans för att

² EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS FÖRORDNING (EU) 2023/2405 av den 18 oktober 2023 om säkerställande av lika villkor för hållbar lufttransport (ReFuelEU Aviation).

³ EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS FÖRORDNING (EU) 2023/1805 av den 13 september 2023 om användning av förnybara och koldioxid snåla bränslen för sjötransport och om ändring av direktiv 2009/16/EG (FuelEU Maritime).

⁴ Energimyndigheten (2023a)

bygga ut elproduktion och elnät samt att skapa ett investeringsklimat som bidrar till att stora satsningar blir av är några av de faktorer som påverkar och formar omställningen. Dessa faktorer påverkar inte bara hur vägen framåt ser ut, utan också i vilken takt förändringen sker. Givet att vidden av möjliga utfall för dessa faktorer är väldigt stort, innebär detta att många olika tekniskspår som bidrar till utsläppsminskning har en möjlig roll att spela i omställningen. För att underlätta omställningen kommer det vara viktigt att utvecklingen i olika delar av energisystemet går i takt, att styrningen mot energi- och klimatmålen är konsekvent och att mål- och intressekonflikter hanteras.

Kostnadsutveckling för tekniker är avgörande för hur snabbt omställningen sker och hur systemet kommer att utvecklas

Kostnaden för olika tekniker har en stor påverkan på energisystemets utveckling. Viljan att ställa om drivs till stor del av att det finns en kostnad för att släppa ut koldioxid men kostnadsutvecklingen för olika tekniker gör att olika alternativ blir mer eller mindre konkurrenskraftiga. Ett exempel är kostnaden för elektrobränslen som skulle kunna minska kraftigt när processerna blir mer industrialiserade och kostnaden för elektrolysörer faller. Teknikutveckling av fossilfri teknik minskar behovet av att fossila bränslen ska bära kostnaden för sin klimatpåverkan med potential att fossilfri teknik på sikt blir det kostnadsmässigt bästa alternativet.

Teknikutveckling sker samtidigt inte momentant utan är en process med oftast stegvisa förbättringar. Nya tekniker är sällan kostnadseffektiva när de precis börjar etableras på en marknad men potentialen för kostnadsutvecklingen på sikt kan vara mycket stor. Det är därför viktigt att satsa på forskning och innovation inom områden som anses prioriterade och att stödja nya tekniker innan de är fullt etablerade.

Storskalighet är en annan viktig faktor för en snabb teknikutveckling. Exempelvis driver Kinas stora satsningar och export av elfordon, batterier, solceller, elektrolysörer m.m. kostnadsutvecklingen för dessa tekniker.

För Sverige, som är ett litet land, är det viktigt med välfungerande internationella samarbeten och handel för att dra nytta av teknikutvecklingens potential till fullo.

Elanvändningen ökar gradvis men med stora skillnader mellan scenarierna

Scenarierna spänner upp ett stort utfallsrum när det gäller det framtida elbehovet. I det lägsta scenariot är elanvändningen cirka 220 TWh år 2050 medan det högsta närmar sig 360 TWh. El är nödvändig för flera tekniker som syftar till att ersätta fossila bränslen men många förutsättningar behöver finnas på plats för en kraftigt ökad elanvändning. Det mest grundläggande är möjligheten till en ökad elproduktion som leder till konkurrenskraftiga elpriser och att fossila bränslen bär kostnaden för sin klimatpåverkan.

Det är centralt att ta ett helhetsperspektiv på energisystemet för att förstå de möjligheter och utmaningar som kommer med omställningen. Våra resultat visar hur starkt sammankopplat olika delar av energisystemet är och att det ofta finns flera alternativ för att lösa samma utmaning. Energisystemet förändras i alla sektorer och scenarierna visar tydligt hur effekterna i en sektor påverkar andra sektorer. Det går därför inte att fullt ut förstå eller analysera framtidens elanvändning isolerat från övriga energisystemet.

Flera drivkrafter bakom en ökad elanvändning

Energisystemets omställning handlar inte om *en* omställning med *en* gemensam drivkraft. Det rör sig snarare om ett flertal olika utvecklingsspår och skilda målsättningar. Strävan mot ett minskat beroende av fossila bränslen drivs exempelvis inte enbart av dess klimatpåverkan utan är även en fråga om geopolitik och försörjningstrygghet samt luftföroreningar. Även de fossilfria teknikalternativen medför någon form av miljöpåverkan eller påverkan på omgivningen som begränsar eller medför nya målkonflikter. Hur dessa hanteras har en stor påverkan på utfallsrummet för framtidens elanvändning.

Tittar vi närmare på olika sektorer och branscher blir också tydligt att hinder, drivkrafter och möjliga utvecklingsvägar skiljer sig åt. Nedan beskrivs ett antal specifika utvecklingsspår som har stor inverkan på framtidens elanvändning.

Den möjliga realiseringen av potentialen för direktreduktion av järn i Sverige påverkas av betalningsviljan för fossilfritt järn och stål. Oaktat betalningsviljan finns alternativa utvecklingsvägar mot nettonollutsläpp för branschen. Dels kan den malm som idag exporteras från Sverige fortsätta exporteras utan nya förädlingssteg, dels kan koldioxidavskiljning och lagring minska utsläppen med fortsatt användning av fossila bränslen.

Elektrifieringen av fordonsflottan påverkas inte minst av kostnadsutvecklingen för batterier och utbyggnad av laddinfrastruktur. Konkurrenskraften för elfordon är god då dessa fordon bara använder en tredjedel så mycket energi som ett fordon med förbränningsmotor och därmed inte är lika känslig för drivmedelspriset (det vill säga elpriset). Ett alternativ till el är fossilfria drivmedel.

För produktion av fossilfria bränslen måste det framför allt finnas en stark global efterfrågan på produkterna. Det finns också flera sätt att tillverka fossilfria bränslen där elektrobränslen och biobränslen från skogsflis får störst påverkan i scenarierna. Utfallet beror bland annat på tillgången på el till konkurrenskraftiga priser och tillgången på biprodukter från skogsbruket vilket slutligen också avgör nivån på elanvändningen.

En ökad etablering av datacenter har sitt ursprung i en global digitaliseringstrend där det inte är givet var i världen dessa placeras. Datacenter är inte lika beroende av investeringscykler som industrin och inte heller lika beroende av närhet till råvaror eller annan infrastruktur utöver elnät. De kan därför vara mer flexibla kring när i tiden investeringen ska ske och var de ska lokaliseras. Det kan därför vara enklare att hitta en lokalisering där det finns möjlighet för elanslutning jämfört med annan elintensiv industri.

Scenarier med kraftigt ökad elanvändning drivs framför allt av vidareförädling, nyindustrialisering och digitalisering

Skillnaden i elanvändningen mellan det högsta och lägsta scenariot är cirka 140 TWh år 2050. Skälet till den stora ökningen i högsta scenariot är framför allt en följd av en ökad vidareförädling av inhemska råvaror, nyindustrialisering och en global digitalisering. Drivkrafterna är i huvudsak möjligheter till ökad export av varor och tjänster och är mer kopplade till en global omställningstrend än en inhemsk strävan mot nettonollutsläpp.

Att det sker en omställning är inte en tillfällig trend utan den kommer att fortsätta så länge målen och riktningen i styrningen består. Viktigt att komma ihåg är också att det handlar om en långsiktig omställning och strukturomvandling. Det är mycket som behöver ske inom elsystemet för att en kraftigt utökad elanvändning ska komma till stånd men omställningen sker gradvis. Den högsta elanvändningen förväntas i slutet av scenarioperioden, runt 30 år framåt i tiden.

En hög efterfrågan på el behöver inte innebära höga elpriser

Givet det utfallsrum som scenarierna presenterar finns inget motsatsförhållande mellan hög efterfrågan och låga elpriser. Det är snarare så att det är acceptansen för och möjligheten att bygga ut elproduktion och infrastruktur som kommer att påverka elanvändningen och elpriset. Om det finns goda möjligheter för kraftslag med låg produktionskostnad att byggas ut kommer också elpriset bli relativt lågt, vilket i sin tur kommer driva på en ökande elanvändning. Begränsas möjligheterna för utbyggnad ökar elpriset, vilket leder till lägre elanvändning. Det kommer alltid finnas ett behov av att prioritera bland olika mål vilket kommer påverka kostnader och hur kostnaden fördelas i samhället. Samtidigt har Sverige väldigt goda förutsättningar för att bygga ut ny kraftproduktion vilket gör en hög elanvändning med relativt lågt elpris möjlig.

1 Inledning

Sveriges energisystem står inför genomgripande förändringar de kommande decennierna. För att öka kunskapen om hur energisystemet kan utvecklas har Energimyndigheten tagit fram fyra utforskande scenarier.

Omställningstrycket inom industrin, uppvärmningssektorn och transportsektorn, från förbränning till elektrifiering och från fossila till fossilfria energikällor, drivs av flera samverkande faktorer. Nationell och europeisk klimat- och energipolitik utgör en central drivkraft, men även snabb teknologiutveckling, internationell handel och sjunkande kostnader för ny teknik spelar avgörande roller.

De senaste årens politiska och ekonomiska utveckling har dock visat att dessa drivkrafter varken är statiska eller förutsägbara. Geopolitiska spänningar i Europa, Asien och Mellan-östern, förändrade handelsmönster med sårbara värdekedjor och tullar på gröna nyckelteknologier och en osäkerhet kring investeringar och tillståndprocesser illustrerar hur snabbt förutsättningarna för omställningen kan förändras. Den globala ekonomiska inbromsningen har dessutom dämpat viljan och möjligheterna att investera i gröna industriprojekt. Dessa faktorer påverkar inte bara energisystemets roll i samhället utan också takten och riktningen för omställningen.

För att öka kunskapen om hur energisystemet kan utvecklas när förutsättningarna förändras har Energimyndigheten tagit fram fyra utforskande scenarier som bygger på två centrala osäkerhetsdimensioner: graden av miljöhänsyn och graden av globalisering. Dessa dimensioner fångar både de värderingar och prioriteringar som formar energisystemet och de globala trender som kan påverka dess utveckling.

Genom att belysa hur dessa dimensioner påverkar energiomställningen syftar rapporten till att stärka beslutsunderlaget i en tid präglad av osäkerhet och förändring.

1.1 Bakgrund och syfte

De fyra utforskande scenarierna som presenteras syftar till att analysera olika utvecklingsvägar för energisystemet i en värld präglad av osäkerhet. De utgår från dagens energisystem och undersöker hur olika faktorer, som politik, kostnader, teknologi och omvärldsutveckling, påverkar energisystemets framtida utveckling. Till skillnad från Energimyndighetens kortsiktiga prognoser⁵, som sträcker sig tre år framåt, syftar dessa scenarier till att beskriva energisystemets långsiktiga utveckling.

Scenarierna i denna rapport har utgått från följande fokusfråga: ”Hur ser vägen till ett energisystem med nettonollutsläpp 2050 ut?” Frågan tar avstamp i Parisavtalet och de nationella bidrag till avtalet som görs inom ramen för EU:s klimatlagstiftning. Scenarierna utgår från bindande krav om nettonollutsläpp i EU till 2050 och görs med antagandet att relevanta

⁵ Se <https://www.energimyndigheten.se/energisystem-och-analys/framtidens-energisystem/kortsiktiga-prognoser/>

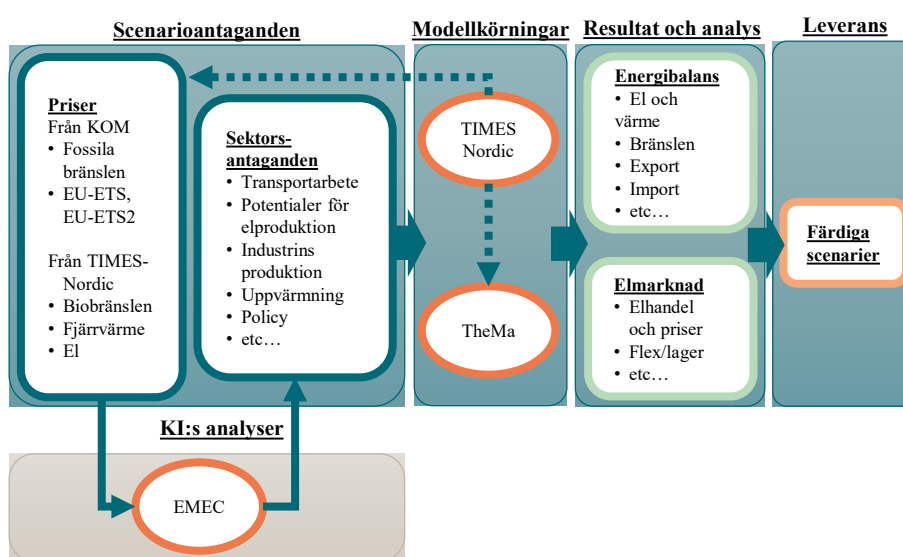
direktiv och regleringar för målets uppfyllelse implementeras i Sverige och övriga medlemsstater. Inget av scenarierna är måluppfyllande vad gäller de energi- och klimatpolitiska målen till 2030 eller 2045, men de kan användas för att analysera gapet till måluppfyllelse.

Energimyndigheten tar vartannat år fram ett scenario med tillhörande känslighetsanalyser (redovisas i Bilaga C – Beslutad policy scenarioresultat) som underlag till rapporteringen av de svenska klimatutsläppen till Europeiska kommissionen (EU-kommissionen). Denna rapportering sker enligt klimatrapporteringsförordningen⁶. Scenariot är ett av flera underlag till Naturvårdsverket och bearbetas vidare i deras arbete med att rapportera klimatutsläppen.

De framtagna scenarierna omfattar hela energisystemet, från tillförsel och omvandling till slutlig användning av energibärare. Rapporten pekar inte ut ett scenario som mer fördelaktigt eller sannolikt, utan syftar till att belysa möjliga utvecklingsvägar i en tid präglad av osäkerhet och förändring. I rapporten fokuseras analysen på 2050 men då analysunderlaget sträcker sig längre än så redovisas resultat fram till 2060.

1.2 Framtagandet av scenarierna

Energimyndighetens scenarier beskriver utvecklingen av energisystemet utifrån antaganden om den ekonomiska utvecklingen, energipriser, sektorsspecifika förutsättningar, befintliga och beslutade styrmedel. Energimyndighetens metod för att ta fram dessa scenarier består av tre steg som leder fram till leveransen av färdigställda scenarier (Figur 1).



Figur 1. Processchema över scenarioanalysens genomförande.

Det första steget omfattar framtagandet av kvantitativa scenarioantaganden. Scenarioantagandena består av fastställandet av scenariospecifika förutsättningar för priser, användar-sektorernas utveckling och styrmedel. Prisförutsättningarna avseende utsläppsrätter, råolja, kol och naturgas levereras av EU-kommissionen. Övriga förutsättningar tas fram genom preliminära modellkörningar och utbyte av data med Konjunkturinstitutet (KI). De preliminära modellkörningarna är underlag för prisförutsättningar avseende el, fjärrvärme och biodriv-

⁶ SFS 2014:1434, Klimatrapporteringsförordning.

medel i KI:s ekonomiska analyser. KI:s analyser görs med modellen Environmental Medium Term Economic Model (EMEC) vars resultat i sin tur ger förutsättningar för användarsektorens utveckling. Användarsektorens utveckling ser olika ut beroende på vilken sektor som avses men omfattar exempelvis produktionsvolym inom industrin, värmebehovet för bostäder och transportarbete för transportsektorn. Avseende styrmedel inkluderas beslutade styrmedel i samtliga scenarier, medan planerade styrmedel och justerade styrmedel enbart inkluderas i de scenarier där de passar utifrån respektive scenariobeskrivning. En beskrivning och översikt av ingående scenarioantaganden för varje sektor, styrmedel och energipriser redovisas i Bilaga B – Metodbilaga.

Det andra steget omfattar en modellanalys av scenarierna med hjälp av energisystemmodellen TIMES-Nordic. Avsikten med modellanalysen är att utifrån scenarioantagandena analysera den potentiella utvecklingen av energisystemet genom att minimera systemets totalkostnad.

TIMES-Nordic är en energisystemmodell som bygger ut energisystemet med de tekniklösningar som ger lägst systemkostnad givet indata, vilka ofta styrs av scenarioantagandena. Kostnadsminimeringen använder det diskonterade nuvärdet av alla kostnadsposter som uppstår i modellen under hela den modellerade perioden. Dessa kostnader inkluderar exempelvis investeringskostnader, driftkostnader, bränslekostnader och skatter. TIMES-Nordic inkluderar en beskrivning av det nordeuropeiska energisystemet med särskilt fokus på Sverige. För Sverige är samtliga delar av energisystemet representerat, medan övriga länders beskrivning främst fokuserar på elsystemet.

Det tredje steget omfattar en analys av det levererade resultatet. Här identifieras trender och de slutsatser som kan dras utifrån det kvantitativa modellresultatet. Viss bearbetning av data görs också för att resultaten ska få rätt format, då modellernas representation av bränslen och sektorer inte alltid stämmer helt med slutprodukten utformning.

1.3 Scenarierna utgör en ram och en utgångspunkt för vidare analyser

Scenarierna presenterar en generaliserad bild av hela Sveriges energisystem – vi målar med de breda penseldragen. Styrkan i den typ av modellanalys som ligger till grund för detta scenarioarbete ligger i att kunna jämföra och kontrastera hur förutsättningarna, i form av begränsningar och kostnader, som målas upp i varje scenario påverkar utfallet. Det är insikterna kring vad som driver systemet i olika riktningar som är av värde, inte det enskilda scenariot. Att betrakta ett enskilt scenario som en prognos är problematiskt då många parametrar (förutsättningar) medför stora osäkerheter på lång sikt. De slutsatser och utvecklingsvägar som presenteras är en fingervisning för hur energisystemet kan komma att utvecklas baserat på de förutsättningar som ges.

Omställningen av energisystemet skapar också lokala utmaningar och möjligheter. Den planerade elektrifieringen av industrin som scenarierna i denna rapport utgår ifrån leder till en omfördelning av elanvändningen mellan elområden. Elektrifieringen av transportsektorn i kombination med ökad installation av solceller på fastigheter driver ytterligare på omställningen på lokal nivå. Biomassan är en lokalt betingad resurs där användningen generellt sker i närhet av resursen vilket kan ha påverkan på exempelvis möjlighet att använda spillvärme från biobränsleproduktion. Dessutom finns starka kopplingar mellan fjärrvärme, kraftvärme och eluppvärmning som har en stor påverkan lokalt.

Dessa lokala förutsättningar och andra specifika omständigheter, som är för detaljerade för det här arbetet, kan mycket väl medföra en syn på omställningen som inte är helt i linje med de presenterade resultaten. Dessa frågor har inte analyserats i denna rapport, men Energi-myndigheten planerar att framöver göra djupdykningar i olika områden med scenarierna som utgångspunkt. Några av de frågor som kan komma att analyseras djupare inkluderar måluppfyllelse (utöver 2050-målet), energieffektivisering, regionalisering och en djupare elmarknadsanalys.

1.4 Avgränsningar

För att förenkla analysen har ett antal avgränsningar gjorts för att hålla arbetet hanterbart och överskådligt.

Scenarierna fokuserar enbart på koldioxidutsläpp inom energisystemet. Detta medför att målet om nettonollutsläpp 2050 är ett mål att energisystemet ska uppnå nettonollutsläpp 2050. Med nettonollutsläpp avses därmed endast nettoutsläpp av koldioxid inom energisystemet, där de sammanlagda utsläppen från fossil koldioxid och negativa utsläpp från lagring av biogena kolatomer ska bli noll eller negativt. Potentiella behov av, eller bidrag till, utsläppsminskning från exempelvis jordbruk eller kolinlagring i skog och mark har inte inkluderats i analysen, inte heller utsläppskrediter från andra länder har inkluderats. Resultaten ska därför ses som fristående från Sveriges övergripande klimatmål. I stället kan scenarierna ge en inblick i hur energisystemet kan bidra till de övergripande klimatmålen och om ytterligare åtgärder måste vidtas för att Sverige ska uppnå sina klimatmål.

Det görs ingen djupare analys av möjliga utvecklingsvägar i våra grannländer. Detta har potentiellt stor påverkan på resultaten, inte minst med avseende på elsystemet. En analys av möjlig utveckling av grannländerna är komplex och lämnades utanför analysen för att hålla arbetet hanterbart.

I och med att regeringen under hösten 2024 sade nej till ett stort antal planerade vindkraftsparker till havs har det varit en diskussion kring förutsättningar för havsbaserad vindkraft.⁷ Effekten av detta beslut har inte aktivt beaktats i de utbyggnadspotentialer som presenteras för scenarierna, men bedöms ha låg inverkan på resultaten. Sverige har goda möjligheter till stora realiserbara potentialer havsbaserad vindkraft samtidigt som utbyggnaden i scenarierna inte är tillräckligt stor för beslutet ska påverka. Inverkan av lokalisering analyseras inte.

Regeringens planer kring kärnkraften inkluderas delvis i analysen i och med att fri utbyggnad av kärnkraft tillåts i några scenarier. Då det inte finns ett konkret beslut om utbyggnad av nya reaktorer har ingen exogen antagen kapacitet för nya kärnkraftsreaktorer inkluderats i scenarierna.

Fokuset för scenariernas utfallsrum ligger på det vi kan förändra med inhemsk politik. Beslutad EU-politik har antagits kvarstå i samtliga scenarier, såsom styrmedel som inkluderas inom *Fit for 55* och *Gröna given*. Analysen inkluderar främst styrmedel som är beslutade och har en direkt styrande påverkan på energisystemet, såsom EU:s utsläppshandelssystem EU

⁷ Regeringskansliet (2024).

ETS⁸, ReFuelEU Aviation⁹ och FuelEU Maritime¹⁰ som syftar till fasa in användningen av hållbara bränslen inom luftfarten respektive sjöfarten.¹¹ Dock varieras hur dessa styrmedel används i scenarierna, beroende på scenariologik. En överblick över hur styrmedlen används i scenarierna ges i Tabell 1. Målsättningar inkluderas inte. Det enda undantaget är nettonollutsläppskravet 2050 som sätts av *Gröna given* då detta mål är redan inbakad i den fokusfråga som scenarierna analyserar.

1.5 Läsanvisning

Rapporten är upplagd på så sätt att kapitel 2 och 3 ger en översiktlig bild av energisystemets utveckling, medan kapitel 4, 5, och 6 presenterar djupare analyser av delar av energisystemet. Generellt redovisas enbart de viktigaste trenderna i den här rapporten. Detaljerade resultat för varje sektor redovisas i stället i Bilaga A – Resultatbilaga.

I **kapitel 2** ges en genomgående beskrivning av de fyra utforskande scenarierna. Beskrivningen inkluderar en scenarioberättelse för varje scenario som beskriver den bakomliggande logiken till de antaganden som görs. Dessutom presenteras resultaten i korthet.

I **kapitel 3** presenteras den övergripande utvecklingen av energisystemet, med fokus på energitillförsel och energianvändning för hela energisystemet.

Kapitel 4 beskriver elsystemets utveckling.

Kapitel 5 beskriver hur användningen och produktionen av nya fossilfria bränslen utvecklas.

Kapitel 6 fokuserar på hur utvecklingen för uppvärmning i bostäder och lokaler ser ut.

I **kapitel 7** förs en diskussion om slutsatser, huvudbudskap och hur scenarierna förhåller sig till de tre energipolitiska pelarna som ligger till grund för både EU:s och Sveriges energipolitik.

⁸ EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS DIREKTIV 2003/87/EG av den 13 oktober 2003 om ett system för handel med utsläppsrätter för växthusgaser inom unionen och om ändring av rådets direktiv 96/61/EG.

⁹ EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS FÖRORDNING (EU) 2023/2405 av den 18 oktober 2023 om säkerställande av lika villkor för hållbar lufttransport (ReFuelEU Aviation).

¹⁰ EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS FÖRORDNING (EU) 2023/1805 av den 13 september 2023 om användning av förnybara och koldioxidsnåla bränslen för sjötransport och om ändring av direktiv 2009/16/EG (FuelEU Maritime).

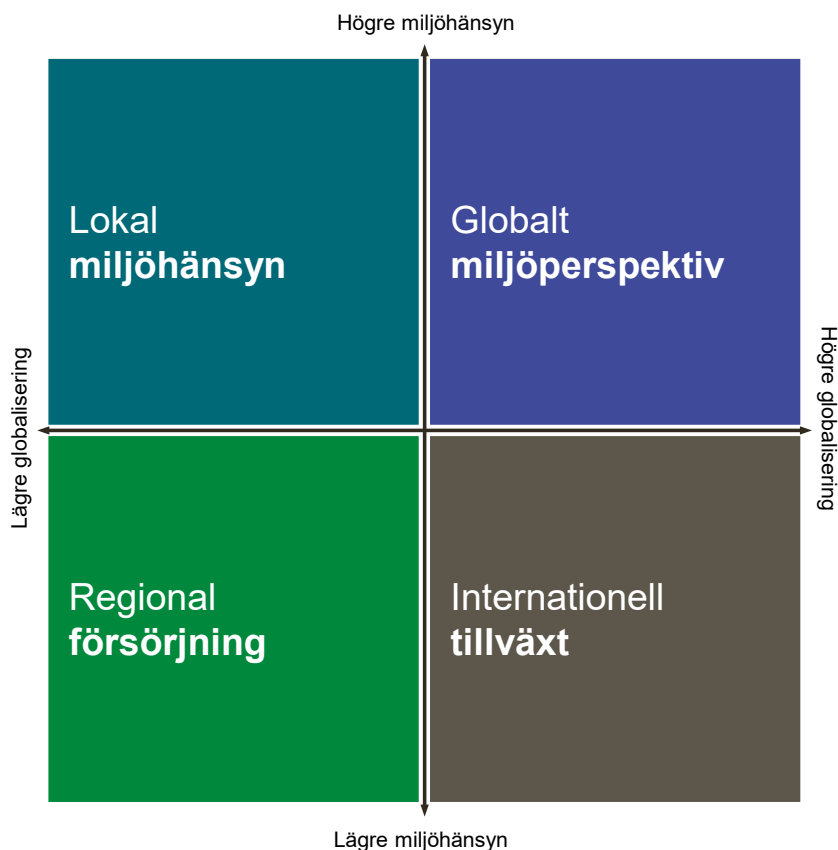
¹¹ RefuelEU Aviation och FuelEU Maritime är del av *Fit for 55*-paketet och beskrivs närmare i bland annat Energimyndighetens rapport Styrmedel för CCS och CCU, ER 2023:26.

2 Utforskande scenarier

För att analysera möjliga utvecklingsvägar för Sveriges energisystem har fyra utforskande scenarier tagits fram baserade på några av de osäkerhetsfaktorer och målkonflikter som kan påverka energisystemets utveckling.

De fyra utforskande scenarier med en underliggande scenariologik är baserade på några av de osäkerhetsfaktorer och målkonflikter som kan påverka energisystemets utveckling. Scenarierna syftar till att undersöka hur energisystemet kan utvecklas i en framtid där nettonollutsläpp 2050 är ett givet mål men där omvärldsfaktorer och avvägningar mellan olika prioriteringar påverkar hur målet kan nås. Samtliga scenarier utgår alltså ifrån att nettonollutsläppsmålet nås senaste 2050.

För att få en för energisystemet relevant spännvidd av utfall har ett scenariokors tagits fram som spänner upp två dimensioner av osäkerhetsfaktorer längs två axlar. Dimensionerna är 1) graden av miljöhänsyn och 2) graden av globalisering, se rutorna för beskrivning av dimensionerna. Kombinationen av dessa faktorer resulterar i fyra scenarier i varsin kvadrant av scenariokorset som illustreras i Figur 2. Osäkerhetsfaktorena är kopplade till aktuella förändringar i omvärlden och i samhället som påverkar energimarknader, kostnader och investeringsbeslut – och därmed energisystemets långsiktiga utveckling.



Figur 2. Schematisk bild över scenariokorset.

Anm. Varje axel motsvarar en huvudsaklig osäkerhetsfaktor och varje kvadrant ett scenario.

Samtliga scenarier ska representera fungerande energisystem med utgångspunkt i de tre energipolitiska pelarna (ekologisk hållbarhet, försörjningstrygghet och konkurrenskraft), med den tillagda begränsningen att de beteenden och teknologival som påverkar energisystemet formas av osäkerhetsfaktorerna (grader av globalisering och miljöhänsyn) och att nödvändiga teknologiskiften sker för att uppnå nettonollmålet 2050.

Vad innebär miljöhänsyn i scenarierna?

Graden av miljöhänsyn representerar hur synen på miljövärden varierar i scenarierna. Mer specifikt ska miljöhänsyn tolkas som hur villigt samhället är att exploatera och utnyttja naturresurser samt hur villigt det är att göra avkall på närmiljö för att tillgodose behoven i energisystemet – där ett av behoven är att minska utsläppen. Graden av miljöhänsyn är med andra ord i det närmsta frikopplad från klimathänsynen i scenarierna. Undantaget är att det i scenarierna görs ett antagande om att en lägre miljöhänsyn leder till lägre utsläppspriser medan högre miljöhänsyn leder till högre utsläppspriser. I alla andra avseenden har ett antagande gjorts om att klimatmålen är överordnade mål som kan uppnås med olika grad av ingrepp i miljön.

En högre miljöhänsyn innebär att miljön värderas högt och att acceptansen för exploatering av naturresurser och ingrepp i miljön som tar lång tid att återställa är låg. Som en följd av det påverkas möjligheten att bygga ut energiproduktion, exempelvis av att tillstandsprocesser förblir ett betydande hinder och att de yt-, mark- och resursanspråk som kan göras för energiändamål begränsas. Med en lägre miljöhänsyn antas tillstandsprocesser gå snabbare, samt att mer inhemska resurser och ytor kan utnyttjas för energiändamål.

Högre grad av miljöhänsyn i *Lokal Miljöhänsyn* och i *Globalt miljöperspektiv*.

Lägre grad av miljöhänsyn i *Regional försörjning* och *Internationell tillväxt*.

Vad innebär globalisering i scenarierna?

När det gäller globalisering varierar graden av samarbetsvilja, frihandel, protektionism och prioritering av självförsörjning i Sverige och i världen. Idag är tillgången till teknik på energiområdet beroende av att sammankopplade globala värdekedjor fortsätter att fungera och att de gör det på ett sätt som anses fördelaktigt för de länder som deltar i den globala ekonomin. Detta gäller inte minst för teknologier som är centrala för energiomställningen, som solceller, batterier och komponenter till vindkraftverk och elbilar. En effektiv allokering av produktion och en viss specialisering länder emellan bidrar generellt till lägre kostnader för dessa och anknyttande teknologier, vilket i sin tur bidrar till deras tillgänglighet. På senare tid har den globala material- och arbetsdelningen kommit att betraktas som alltmer problematisk. I både USA och EU görs ansträngningar för att etablera egna värdekedjor i industrier som numera betraktas som strategiskt viktiga. Målet med satsningarna är att öka självförsörjandegraden i alla delar av värdekedjan, från råmaterial till färdig produkt.

I scenarier med högre globalisering antas en generellt snabbare teknologiutveckling och lägre kostnader för klimatomställningens nyckelteknologier som en funktion av att den globala arbetsdelningen består i en hög grad. Även andra samarbeten, som överföringskapacitet mellan närliggande länders elnät, möjliggörs i större utsträckning och bidrar till lägre systemkostnader för energisystemet. Högre globalisering leder också till högre ekonomisk tillväxt och att fler planerade satsningar inom industrin antas genomföras. I scenarier med lägre grad av globalisering antas en högre prioritet av självförsörjning vilket på olika sätt leder till högre kostnader för klimatomställningens nyckelteknologier och till att globala samarbeten nedprioriteras till fördel för nationella behov och regional samverkan.

Högre grad av globalisering i *Globalt miljöperspektiv* och *Internationell tillväxt*.

Lägre grad av globalisering i *Lokal miljöhänsyn* och *Regional försörjning*.

Dessa osäkerhetsfaktorer styr skillnaderna mellan de fyra utforskande scenarierna. I nästföljande avsnitt presenteras de övergripande dragen och de huvudsakliga antagandena som görs för varje scenario.

2.1 Förutsättningar för scenarierna

De utforskande scenarierna bygger i grunden på en kartläggning av beslutad energi- och klimatpolitik (till och med budgetproposition 2024/25:1¹²) men avviker genom att undersöka alternativa utvecklingsvägar för energi- och klimatpolitiken. Detta inkluderar en variation av EU-kommissionens prisbanor för EU:s system för handel med utsläppsrätter (EU ETS och ETS 2)¹³ som sätts exogent i modellen. En detaljerad beskrivning av utsläppsrättspriser och andra styrmedel på EU-nivå finns i Bilaga B – Metodbilaga.

I de utforskande scenarierna justeras ett flertal antaganden för att belysa konsekvenserna för energisystemet av möjliga framtida utvecklingsbanor för energi- och klimatpolitiken, men även förändringar i omvärldsläget. Justeringar görs framför allt av ekonomiska faktorer, styrmedel, teknikkostnader, potentialer och utsläppsrättspriser. En översikt över utvalda antaganden som Energimyndigheten anser representera logiken i scenarierna finns i avsnitt 2.3.

I scenarierna görs olika antaganden om det typ av skogsbruk som bedrivs i Sverige vilket påverkar mängden biomassa som finns tillgänglig för energiändamål. Potentialerna för biomassa är baserade på uppskattade avverkningsvolymerna från Skogsstyrelsens skogliga konsekvensanalys (SKA 22)¹⁴. En matchning mellan skogsbruksscenarierna i SKA 22 och scenarioberättelserna i denna rapport har gjorts, främst i relation till betoningen på miljöhänsyn och självförsörjning i respektive scenario.

Mängden realiserbar potential för land- och havsbaserad vindkraft ska förstås som en konsekvens av politiska beslut på nationell och lokal nivå samt hur tillståndprocesser påverkar möjligheten till utbyggnad i respektive scenario. Hur mycket av den realiserbara potentialen som faktiskt realiserar bestäms endogent av modellen. Detsamma gäller för solkraft på jordbruksmark, där ett antagande om politiskt begränsad utbyggnad görs för scenarierna med miljöfokus. Ett ekonomiskt stöd likt skattereduktionen för mikroproduktion av el (den så kallade 60-öringen som föreslagits bör avskaffas från och med 1 januari 2026¹⁵) antas vara kvar i *Lokal miljöhänsyn*, motiverat av ett behov att uppmuntra till elproduktion med låg miljöpåverkan i ett scenario där den realiserbara potentialen för annan utbyggnad är begränsad.

Även trafikarbetets utveckling kan delvis ses som en funktion av mer eller mindre styrning mot kollektivtrafik och andra åtgärder som i varierande grad uppmuntrar till energieffektivisering. Trafikarbetet, särskilt för lätta och tunga lastbilar, antas även påverkas av graden av globalisering och ekonomisk tillväxt där scenarierna med hög globalisering har en högre utveckling för lastbilstrafiken, som antas möta ett växande behov av varuleveranser.

¹² Prop. 2024/25:1.

¹³ EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS DIREKTIV 2003/87/EG av den 13 oktober 2003 om ett system för handel med utsläppsrätter för växthusgaser inom unionen och om ändring av rådets direktiv 96/61/EG.

¹⁴ Se Skogsstyrelsen (2023).

¹⁵ I budgetpropositionen för 2025 (prop. 2024/25:1) sidan 246 står att regeringen under 2025 avser återkomma till riksdagen med ett förslag, samt att det kommande förslaget bör träda i kraft 1 januari 2026.

Avvikelser från beslutad politik i termer av EU:s energi- och klimatlagstiftning berör direktivet om byggnaders energiprestanda¹⁶ (förkortat EPBD) och koldioxidpriserna i EU:s system för handel med utsläppsrätter (EU ETS och ETS 2). Kraven som kommer i och med implementeringen av EPBD antas implementeras i de två utforskande scenarier som har en högre miljöhänsyn och därigenom också en större betoning på energieffektivisering och resurseffektivitet. I dessa scenarier används även en högre prisbana för EU ETS och ETS 2 given av EU-kommissionen och definierad som WAM (with additional measures) vilket kortfattat kan beskrivas som en kategori av åtgärder som går utöver beslutad politik. I scenarier med mindre fokus på energi- och resurseffektivitet antas kraven i EPBD inte implementeras.

För andra regleringar på EU-nivå som FuelEU Maritime¹⁷ och ReFuelEU Aviation¹⁸ antas dessa implementeras fullt ut i samtliga scenarier, eftersom de bedöms vara nödvändiga för att uppnå ett energisystem med nettonollutsläpp. Detta gäller även för EU:s åtstramade utsläppskrav på nyregistrerade lätta och tunga fordon. Dessa regleringar bidrar till ett likartat omvandlingstryck mot elektrifiering, e-bränslen och biobränslen i hela transportsektorn i samtliga scenarier.

2.2 Presentation av scenarierna

De antaganden som har gjorts för varje scenario bygger på en underliggande scenario-berättelse som har utformats för att skapa en sammanhängande och trovärdig bild av framtiden. Syftet med berättelserna är att förankra de antaganden som görs i en relevant och trovärdig utvecklingsväg för klimat- och energipolitiken och omvärldsläget. I det här avsnittet presenteras scenarioberättelserna för respektive scenario tillsammans med utvalda resultat. En detaljerad beskrivning av resultaten ges i efterföljande kapitel och i Bilaga A – Resultatbilaga.

2.2.1 Scenario Lokal miljöhänsyn

Högre grad av miljöhänsyn	
Lägre grad av globalisering	

¹⁶ EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS DIREKTIV (EU) 2024/1275 av den 24 april 2024 om byggnaders energiprestanda (omarbetning).

¹⁷ EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS FÖRORDNING (EU) 2023/1805 av den 13 september 2023 om användning av förnybara och koldioxidsnåla bränslen för sjötransport och om ändring av direktiv 2009/16/EG (FuelEU Maritime).

¹⁸ EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS FÖRORDNING (EU) 2023/2405 av den 18 oktober 2023 om säkerställande av lika villkor för hållbar lufttransport (ReFuelEU Aviation).

I en värld präglad av globala och nationella politiska låsningar växer det fram protektionistiska tendenser mellan länder. Rivaliteten leder till minskade möjligheter till internationellt samarbete och handel. I Sverige står behovet av nationell självförsörjning i konflikt med en stark lokal miljöhänsyn vilket begränsar möjligheterna att utöka energiuttaget från naturresurser som skog och odlingsmark men också för etablering av vissa industrier m.m. Dessa målkonflikter blir särskilt påtagliga när utbyggnad av elproduktion kolliderar med lokala miljö- och säkerhetsintressen, som därmed står i konflikt med en ökad självförsörjningsgrad.

Med begränsade möjligheter att öka energiproduktionen blir resurseffektivitet ett centralt mål. Dels för att öka graden av självförsörjning, dels för att bevara naturtillgångar. Värdet av att bevara naturresurser för alternativa ändamål, och en vilja att skydda landskapet från exempelvis expansiv gruvdrift och intensivt biomassa-uttag, förblir viktigt.

Handelsprotektionism, särskilt med avseende på grön teknologi, och de olösta målkonflikterna kring naturvärden på nationell nivå leder till en långsammare ekonomisk tillväxt och högre kostnader för fossilfri energiproduktion. Samtidigt utvecklas en mer resurseffektiv energianvändning och industrins energibehov hålls tillbaka, delvis som en konsekvens av ambitionen att värna om lokala miljövärden och säkerställa en återhållsam exploatering av Sveriges naturtillgångar.

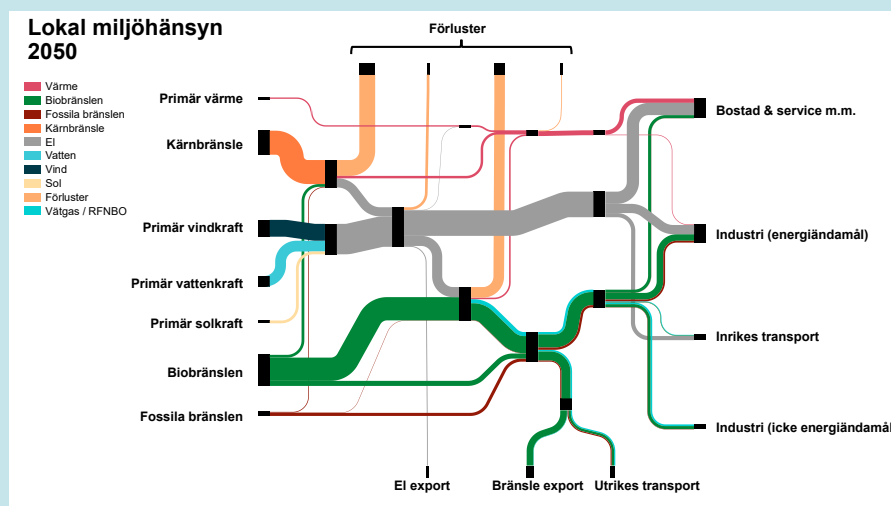
- Svårlosta tillståndprocesser och en hög värdering av närmiljö gör att den realiserbara potentialen för utbyggnad av elproduktion är begränsad för samtliga energislag, med undantag för solkraft på byggnader. Endast drifttidsförlängning av befintliga reaktorer tillåts för kärnkraften.
- Tillgången på biomassa är begränsad både för energiändamål och som råvara. Skogsbruket antas följa ett skogsbruksscenario¹⁹ som premierar biologisk mångfald, ökade naturvårdsområden och minskat kalhyggesbruk.
- Energieffektivisering premieras för dess bidrag till både självförsörjning och minskat resursuttag. Samhället antas bli mer transporteffektivt med ett lägre transportarbete som följd. Fler energieffektiviseringsåtgärder för minskat värmebehov inom bostäder antas drivas igenom politiskt.
- Handelsprotektionism och regionalisering innebär en generellt lägre ekonomisk tillväxt. Det inbegriper även begränsad handel med grön teknik, energivaror och en begränsning av nationsöverskridande transmissionskapacitet. Färre planerade projekt inom industrin blir av vilket leder till en lägre energianvändning.

¹⁹ SKA 22: Fokus mångfald.

Översikt av resultat för Lokal miljöhänsyn

I scenariot sätts begränsningar på ekonomins och energisystemets utveckling vilket gör ett betydande avtryck i scenarioreultatet.

- Begränsad realiserbar potential för land- och havsbaserad vindkraft samt markbaserad solkraft tvingar fram en utbyggnad av kraftslag som solkraft på byggnader. Den växande men relativt begränsade elanvändningen på 244 TWh kan trots det tillgodoses, men med de högsta elpriserna av samtliga scenarier.
- Ett högre utsläppsrättspris inom EU ETS och ETS 2 accelererar utfasningen av fossila bränslen i detta scenario. Skattebefrielsen för höginblandade biodrivmedel förstärker utvecklingen avsevärt genom att priset på HVO²⁰ vid pump understiger priset för låginblandad diesel från år 2035 och framåt. Inom industrin bidrar de högre utsläppsrättspriserna till en ökad användning av fossilfria bränslen och snabbare implementering av koldioxidavskiljning och lagring (CCS).
- Kraft- och fjärrvärme får svårt att konkurrera om en begränsad mängd biomassa. En kombination av ett begränsat skogsbruk som prioriterar mångfald tillsammans med lägre importmöjligheter gör att användningen av biomassa skiftar till andra sektorer där betalningsviljan är högre. Samtidigt minskar uppvärmningsbehovet med flera TWh på grund av tvingande energieffektiviseringsåtgärder inom ramen för direktivet för byggnaders energiprestanda (EPBD).



Figur 3. Huvudsakliga flöden av energibärare 2050 i scenariot *Lokal miljöhänsyn*.

²⁰ Hydrerad vegetabilisk olja (HVO) är ett förnybart drivmedel avsett för dieselmotorer. Det kan blandas in i eller helt ersätta diesel.

2.2.2 Scenario Globalt miljöperspektiv

	Högre grad av miljöhänsyn Högre grad av globalisering

I *Globalt miljöperspektiv* råder en värld präglad av internationellt samarbete och frihandel, där ett globalt samförstånd har vuxit fram kring behovet att sänka utsläppen av växthusgaser. Världens länder delar ett gemensamt ansvar för klimatet, och Sverige bidrar genom att delvis kompromissa med lokala naturvärden för att möjliggöra omställningen på global nivå. Tack vare hög global arbetsdelning och frihandel kan Sverige dessutom dra nytta av sjunkande tillverkningskostnader för ny teknologi, vilket stärker drivkrafterna bakom den nationella omställningen.

Denna globala hållning till miljöfrågor utmanas dock av en stark ekonomisk tillväxt och ökande industriell efterfrågan på fossilfria råvaror och energi, vilket leder till målkonflikter när expansionsplaner gör ett växande anspråk på lokala resurser och naturtillgångar. Elektrifiering och energieffektivisering blir politiskt prioriterade områden, drivna av ambitionen att balansera miljöskydd med ekonomisk expansion. Produktion från energikällor som har låg påverkan på närmiljön prioriteras, och havsbaserad vindkraft får relativt goda förutsättningar tack vare effektiva tillstandsprocesser och färre målkonflikter kring säkerhetsrelaterade behov.

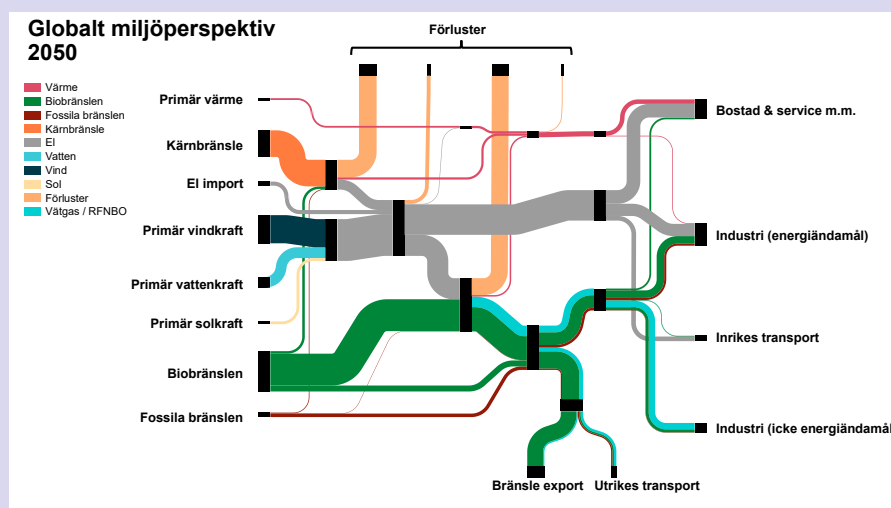
Goda möjligheter till handel och internationellt samarbete medför även en lägre nivå av målkonflikter kring självförsörjning.

- Fokus på elektrifiering gör att realiserbar potential för förnybar elproduktion är relativt god, i synnerhet för havsbaserad vindkraft och solkraft på byggnader. Drifttidsförlängning av befintliga kärnkraftsreaktorer tillåts. Även ny kärnkraft tillåts men bara på befintliga platser utifrån perspektivet att närmiljön redan är påverkad, vilket i kombination med det höga elbehovet mildrar motståndet.
- Biomassatillgången är relativt låg. Produktion av biodrivmedel motsätts inte, men den övergripande principen är att bränslen från inhemska råvaror främst ska användas inom landet. Skatteundantaget för höginblandade biodrivmedel är borttaget då elektrifiering ses som mer miljövänligt och ekonomiskt i en värld med fallande teknologikostnader.
- Energieffektivitet premieras. Personbiltätheten antas minska på grund av effektivare användning av transporter, särskilt i städer. Även uppvärmningsbehovet minskar, delvis till följd av politiska krav på energieffektiviseringsåtgärder.
- Den starka globaliseringstrenden medför en hög ekonomisk tillväxt. Detta innebär fortsatt handel med energivaror, grön teknologi och lägre teknikkostnader för bland annat vind- och solkraft. Omställningen av industrin antas fortskrida i hög takt men bromsas något av att expansionsplaner står i konflikt med en hög miljöhänsyn. Bland annat sätts en begränsning så att ingen ny gruvbrytning av järnmalm kan ske för en mer expansiv järnsvampsproduktion, utan att endast befintliga produktionsvolymen järnmalm kan förädlas.

Översikt av resultat för Globalt miljöperspektiv

Scenariot visar på ett energisystem som tillmötesgår ett starkt växande el- och energibehov trots bestående målkonflikter kring utbyggnad av elproduktion och exploatering av skogsresurser.

- En begränsad realiserbar potential för landbaserad vindkraft och ett stort elbehov på 352 TWh gör detta scenario till det mest expansiva för havsbaserad vind. Cirka 65 TWh havsbaserad vindkraft byggs ut för att möta ett växande elbehov från industrin och raffinaderier som bland annat efterfrågar stora mängder vätgas för att producera fossilfritt stål och elektrobränslen.
- Hög grad av globalisering innebär en relativt hög export av förädlade varor och bränslen med fossilfria insatsvaror. Detta driver på en hög efterfrågan på fossilfria bränslen och el, vilket leder till att priset på el blir relativt högt och priset på biomassa blir högst bland scenarierna. Trots detta drivs omställningen bort från fossila bränslen på grund av de höga utsläppsriktpriserna.
- Transportsektorn elektrifieras visserligen i en snabb takt, men det räcker inte för att ersätta effekten av det borttagna skatteundantaget för höginblandade biodrivmedel. Användningen av fossil diesel förblir hög fram till och med 2035 utan undantaget, trots högre utsläppsriktpriser via ETS 2.



Figur 4. Huvudsakliga flöden av energibärare 2050 i scenariot *Globalt miljöperspektiv*.

2.2.3 Scenario Regional försörjning

Lägre grad av miljöhänsyn Lägre grad av globalisering	

I *Regional försörjning* möter Sverige en värld präglad av internationell rivalitet. Nationer prioriterar sina egna behov och lägger stor vikt vid självförsörjning och nationell säkerhet. Samarbete sker i första hand regionalt mellan likasinnade länder, medan globala partnerskap är mer sällsynta. I denna kontext är det upplevda behovet av ett resilient och tryggt energisystem så starkt att lokala invändningar mot utbyggd elproduktion och miljöhänsyn ofta får stå tillbaka. Det innebär goda förutsättningar för landbaserad vindkraft medan havsbaserad vindkraft anses stå i konflikt med försvarsintressen och möter därför något sämre förutsättningar.

Behovet av att upprätta lokala produktionskedjor och regionala värdekedjor leder dock till att teknikutvecklingen går långsammare och att kostnaderna blir högre. Samtidigt finns en ökad vilja att exploatera nationella resurser för att nå energisuveränitet, och att tillgodose behovet på regional nivå, inte minst inom EU. Motstånd mot brytning av strategiska metaller och mineraler, inklusive uran, är lågt – vilket öppnar för en expansiv utvinning av dessa resurser för att säkra det behov som finns på nationell och regional nivå.

Sammantaget skapas ett robust men mer isolerat energisystem som värderar nationell kontroll och oberoende över snabb teknikutveckling och miljöhänsyn.

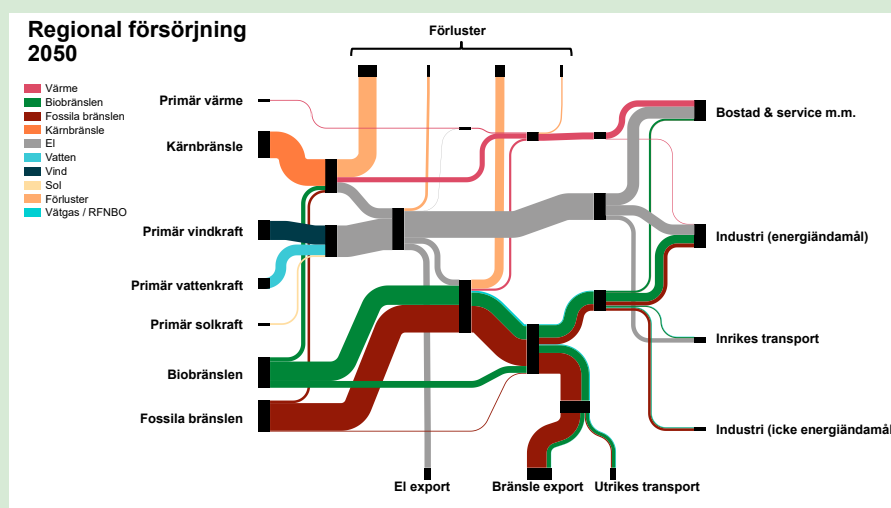
- Hög prioritering av självförsörjning gör att de realiserbara potentialerna för utbyggnad av elproduktion är goda oavsett kraftslag. Undantaget är potentialerna för havsbaserad vind som begränsas av försvarsskäl. Kärnkraften har inga begränsningar, det är marknaden som avgör om den byggs ut.
- Biomassatillgången är generellt god i scenariot. Skogsbrukets utveckling antas följa ett skogsbruk²¹ som gör skogen mer motståndskraftig mot klimatpåverkan och samtidigt möjliggör ett betydande uttag av skogsråvara.
- Den regionaliserade omvärlden bidrar till en lägre ekonomisk tillväxt. Handeln med energivaror och grön teknologi begränsas, liksom gränsöverskridande transmissionskapacitet. Färre planerade projekt inom industrin blir av vilket leder till en lägre energianvändning.
- Med en lägre ekonomisk aktivitet, handel och optimism kring omställningen antas efterfrågan på fossilfritt stål också vara lägre. I det här scenariot tillåts modellen själv välja den mest kostnadseffektiva teknologin för att minska koldioxidutsläppen i järn- och stålindustrin och parera stigande utsläppspriser, vilket inte nödvändigtvis sker med vätgas som i övriga scenarier.

²¹ SKA 22: Fokus klimatanpassning.

Översikt av resultat för Regional försörjning

I det här scenariot leder en kombination av lägre ekonomisk tillväxt och färre industrisatsningar, tillsammans med mindre elkrävande teknikval, till att elbehovet kan tillgodoses med en mer begränsad till en låg kostnad.

- Den planerade exporten av järnsvamp förväntas utebli till följd av lägre globalisering, tillväxt och handel. En skillnad i resultatet är dock att dagens masugnsbaserade stålproduktion fortsätter efter 2030, men med CCS i stället för att ersättas av en vätgasbaserad process. Det leder till ett betydligt lägre elbehov inom stålindustrin.
- Med den lägsta elanvändningen av alla scenarier på 223 TWh, och med relativt goda förutsättningar för landbaserad vindkraft, uteblir utbyggnaden av havsbaserad vindkraft helt. Kombinationen av mycket landbaserad vindkraft och ett lägre elbehov ger ett kontinuerligt överskott på el i samma storleksordning som i dagens elsystem.
- God tillgång på inhemsk biomassa och begränsad internationell handel med biobränslen leder till att scenariot har lägst prisutveckling för biomassa, som annars ser en stor ökning i övriga scenarier. Den goda tillgången på biomassa bidrar till att biobränslen blir konkurrenskraftiga alternativ till fossilt inom luftfart och sjöfart vilket minskar behovet av elektrobränslen för att ställa om dessa sektorer. Även fjärrvärmen får bättre förutsättningar med lägre bränslekostnader.



Figur 5 Huvudsakliga flöden av energibärare 2050 i scenariot *Regional försörjning*.

2.2.4 Scenario Internationell tillväxt

	Lägre grad av miljöhänsyn Högre grad av globalisering

I en värld präglad av stark tilltro till globalt samarbete, frihandel och teknisk innovation sker en snabb utveckling och spridning av teknologi. Teknikneutralitet har blivit en central princip – där olika lösningar tävlar på lika marknadsvillkor, vilket driver fram de mest konkurrenskraftiga alternativen. Globala marknadskrafter och fri konkurrens ses som vägen framåt för att möta energisystemets och klimatets utmaningar, och teknologi som kan bidra till omställningen premieras oavsett ursprung eller typ.

Detta innebär att Sverige tar ett ansvar för den globala klimatomställningen genom att bidra med landets naturtillgångar. Sverige exporterar både elsystemtjänster och produkter som klimatneutrala bränslen, batterier och fossilfria jämnprodukter – resurser som världen efterfrågar för att minska sitt klimatavtryck. Med ett starkt fokus på tillväxt ökar även exploateringen av de egna naturtillgångarna, där framför allt uttaget av biomassa ur skogen intensifieras för att kunna möta den växande globala efterfrågan på gröna kolatomer.

En expansiv industri och ett stort uttag av biomassa gör det visserligen möjligt för Sverige att förse sig självt och världen med innovativ teknologi och gröna kolatomer, men det utmanar också förmågan att bevara lokala miljövärden.

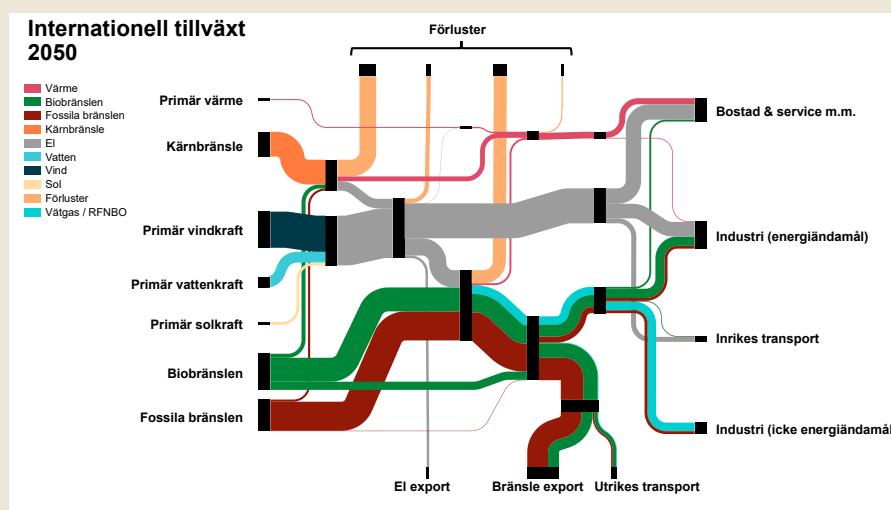
- Det finns inga större hinder för utbyggnaden av elproduktion och andra energirelaterade satsningar. Utbyggnadskapaciteter och antagande kring kostnader och tillståndprocesser är gynnsamma. Det är kostnaden som avgör om en satsning blir av eller inte.
- Energieffektivisering prioriteras inte politiskt men genomförs när det är lönsamt på marknadsmässiga grunder. Med en lägre grad av fokus på effektivitet följer också i detta scenario den största ökningen av personbils- och lastbilstrafiken.
- Biomassatillgången är högst bland samtliga scenarier. Skogsbruket²² sker på ett sätt där skogen nyttjas så att uttaget av biomassa är i paritet med den årliga återväxten.
- Fortsatt hög grad av globalisering medför en hög ekonomisk tillväxt. Förutsättningarna för handel med energivaror och grön teknologi är goda, liksom möjligheterna till utbyggd nationsöverskridande transmissionskapacitet för el. Omställningen av industrin antas fortsätta i full takt, med en mer optimistisk syn på produktionsnivåer.

²² SKA 22: Fokus tillväxt.

Översikt av resultat för Internationell tillväxt

I det här scenariot möts den högsta elanvändningen i samtliga scenarier av goda förutsättningar för utbyggd elproduktion. Färre målkonflikter och fortsatt handel bidrar till höga realiserbara potentialer för land- och havsbaserad vindkraft och fallande kostnadskurvor. Scenariot visar på en utvecklingsväg där elpriset kan förbli relativt lågt trots en starkt expanderande energi- och elanvändning.

- Den stora realiserbara potentialen för landbaserad vindkraft på 200 TWh skapar goda förutsättningar att möta det högsta elbehovet av samtliga scenarier på 357 TWh. Solkraft byggs också ut i takt med stigande elbehov men når en punkt där dess lönsamhet påverkas negativt av den så kallade kannibaliseringseffekten, d.v.s. när solen skiner produceras mycket el vilket pressar priserna och minskar lönsamheten. Det öppnar upp för utbyggnad av havsbaserad vindkraft i slutet av scenarioperioden.
- Med lägst fokus på resurseffektivitet har detta scenario den högsta energianvändningen för att tillgodose behovet inom transport och uppvärmning 2050.
- Goda möjligheter till export av fossilfria bränslen bidrar till att nästan 200 TWh fossilfria bränslen produceras i detta scenario. Som insatsvara används drygt 100 TWh el, men även stora mängder biomassa som det finns god tillgång på.
- Även industrin, som är som mest expansiv i detta scenario, använder ansevärd mängder el. Inom järn- och stålindustrin används 75 TWh el 2050 för att producera vätgas genom elektrolys.



Figur 6. Huvudsakliga flöden av energibärare 2050 i scenariot *Internationell tillväxt*.

2.3 Översikt över scenarioantaganden

I Tabell 1 presenteras utvalda scenarioantaganden för de fyra scenarierna.

Tabell 1. Översikt över utvalda antaganden för scenarierna.

Scenario	Lokal miljöhänsyn	Globalt miljöperspektiv	Regional försörjning	Internationell tillväxt
Nationellt				
Skattebefrielse höginblandade biodrivmedel	Hela scenario-perioden	Till och med 2026	Hela scenario-perioden	Till och med 2026
Biomassauttag skogsbruk	Lägst (Fokus mångfald)	Lägre (50 % Fokus mångfald)	Något högre (Klimat-anpassning)	Högre (Fokus tillväxt)
Solkraft på jordbruksmark	Begränsad	Begränsad	Obegränsad	Obegränsad
Kärnkraft	Drifftidsförlängning tillåtet, ny kärnkraft ej tillåtet	Drifftidsförlängning tillåtet, ny kärnkraft på befintliga platser, max 8,4 GW	Obegränsad	Obegränsad
Små modulära reaktorer och kärnvärme från kärnkraft	Ej tillåtet	Ej tillåtet	Tillåtet	Tillåtet
Utbyggnad transmissionskapacitet	Ej tillåtet	Tillåtet med begränsad potential	Lägre potential	Högre potential
Avdrag för mikroproduktion av el	Inkluderat	Ej inkluderat	Ej inkluderat	Ej inkluderat
Realiserbar potential landbaserad vindkraft	70 TWh	100 TWh	165 TWh	200 TWh
Realiserbar potential havsbaserad vindkraft	120 TWh	180 TWh	150 TWh	240 TWh
Trafikarbete	Ökad användning av kollektivtrafik, minskade godstransporter	Ökad användning av kollektivtrafik, ökade godstransporter	TRV Bas-prognos ²³	Ökade gods-transporter
EU				
EPBD ²⁴	Inkluderat	Inkluderat	Ej inkluderat	Ej inkluderat
EU ETS	Högre (WAM ²⁵)	Högre (WAM)	WEM ²⁶	WEM
ETS 2	Högre (WAM)	Högre (WAM)	WEM	WEM
ReFuelEU Aviation och FuelEU Maritime	Inkluderade	Inkluderade	Inkluderade	Inkluderade
EU:s utsläppskrav på lätta fordon ²⁷	Inkluderat	Inkluderat	Inkluderat	Inkluderat

²³ Trafikverkets basprognos 2024 för trafikarbetet på svenska vägar, se Trafikverket (2024).

²⁴ I enighet med *Underlag till genomförande av artikel 25.1–25.5 i direktivet om energieffektivitet*, ER2024:24

²⁵ WAM = With additional measures. Högre priser på utsläppsrätter enligt EU-kommissionen.

²⁶ WEM = With existing measures. EU-kommissionens rekommenderade prisbana.

²⁷ EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS FÖRORDNING (EU) 2019/631 av den 17 april 2019 om fastställande av normer för koldioxidutsläpp för nya personbilar och för nya lätta nyttofordon och om upphävande av förordningarna (EG) nr 443/2009 och (EU) nr 510/2011 (omarbetning).

3 Energisystemets utvecklingsvägar

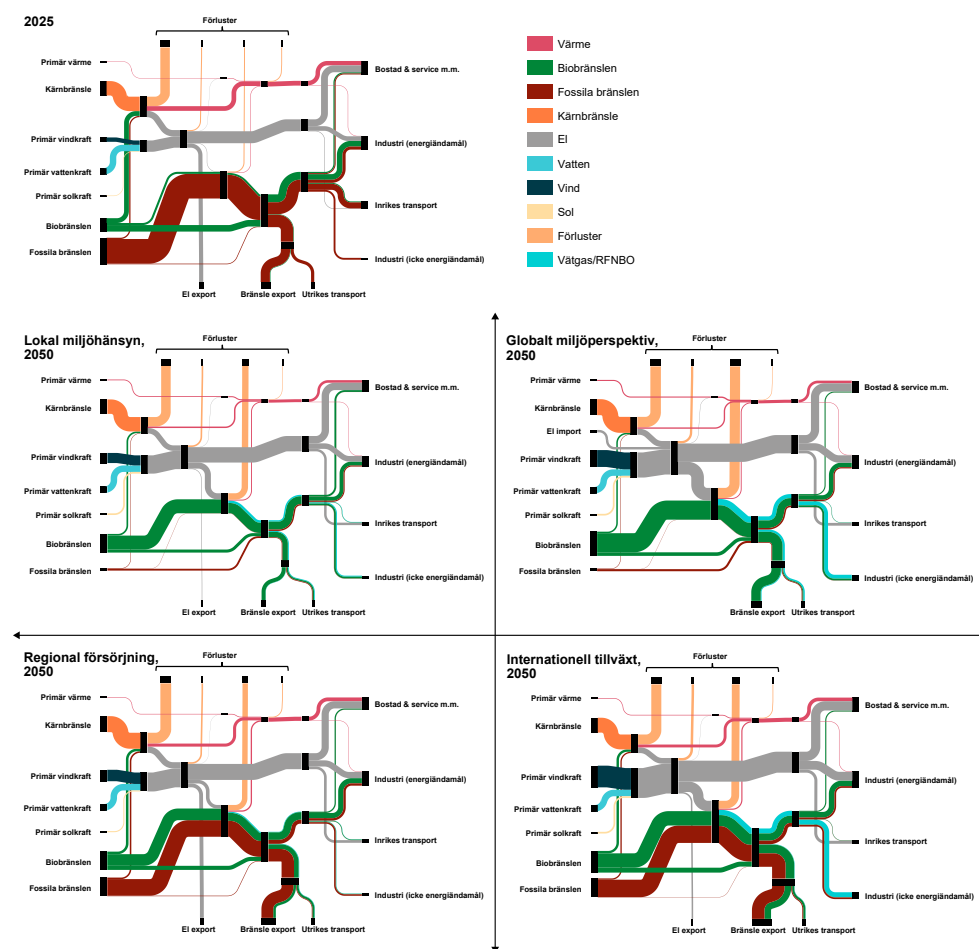
De olika scenarierna ger olika utvecklingsvägar för energisystemet, men gemensamt för samtliga är att användningen av fossila bränslen minskar kraftigt.

Resultat i korthet för energisystemet

- Kärnbränsle fortsätter att utgöra en stor del av tillförd energi i energisystemet i samtliga scenarier.
- Vindkraft växer i alla scenarier och mer i scenarier med högre grad av globalisering, dels till följd av en snabbare teknikutveckling, dels som konsekvens av en större efterfrågan på el.
- Användningen av fossila bränslen minskar kraftigt eller upphör i industri- och transportsektorn. I scenarierna med lägre miljöhänsyn används fortsättningsvis oljor för konventionell drivmedelsproduktion som sedan exporteras, om än mindre än idag.
- Framför allt för fjärrvärmeproduktion och i transportsektorn minskar användningen av biobränslen. Produktion av biodrivmedel i bioraffinaderier sker i samtliga scenarier. Biodrivmedel exporteras i samtliga scenarier, med en större export i scenarierna med en högre grad av globalisering.

De olika scenarierna ger olika utvecklingsvägar för energisystemet. Storlekarna på flödespilarna i Figur 7 visar på skillnaderna. Gemensamt för samtliga scenarier är att vindkraften ökar kraftigt. Ökningen är som störst i *Internationell tillväxt* där det finns en stor efterfrågan på el och bättre förutsättningar för ny elproduktion medan det omvända gäller i *Lokal miljöhänsyn* där efterfrågan på el är lägst. I samtliga scenarier drifttidsförlängs dagens befintliga kärnkraft och med undantag för *Lokal miljöhänsyn* byggs även ny kärnkraft i scenarierna. Läs mer om elproduktion och efterfrågan på el i Kapitel 4.

Tillförsel av biobränslen till energisystemet, främst i form av trädbränslen, påverkas stort av hur produktionen av biodrivmedel i bioraffinaderier utvecklas i scenarierna. I *Globalt miljöperspektiv* ses den högsta tillförseln av biobränslen men även den största exporten av biodrivmedel. Gemensamt för samtliga scenarier är även att användningen av fossila bränslen minskar kraftigt inom landet men i *Regional försörjning* och *Internationell tillväxt* finns fortsatt en produktion av fossila drivmedel i konventionella raffinaderier som sedan exporteras. Läs mer om hur marknaderna för biobränslen och fossila bränslen utvecklas i scenarierna och anledningar till utvecklingen i Kapitel 5.



Figur 7. Energiflöden 2025 samt 2050 i scenarierna.

3.1 Total energitillförsel och användning

Den totala energitillförseln var 507 TWh²⁸ under 2023. F År 2050 är energitillförseln mellan 475–620 TWh beroende på scenario, vilket kan ses i Figur 8. I *Lokal miljöhänsyn* är tillförd energi lägst och lägre än dagens nivå medan den högsta energitillförseln ses i *Internationell tillväxt*.

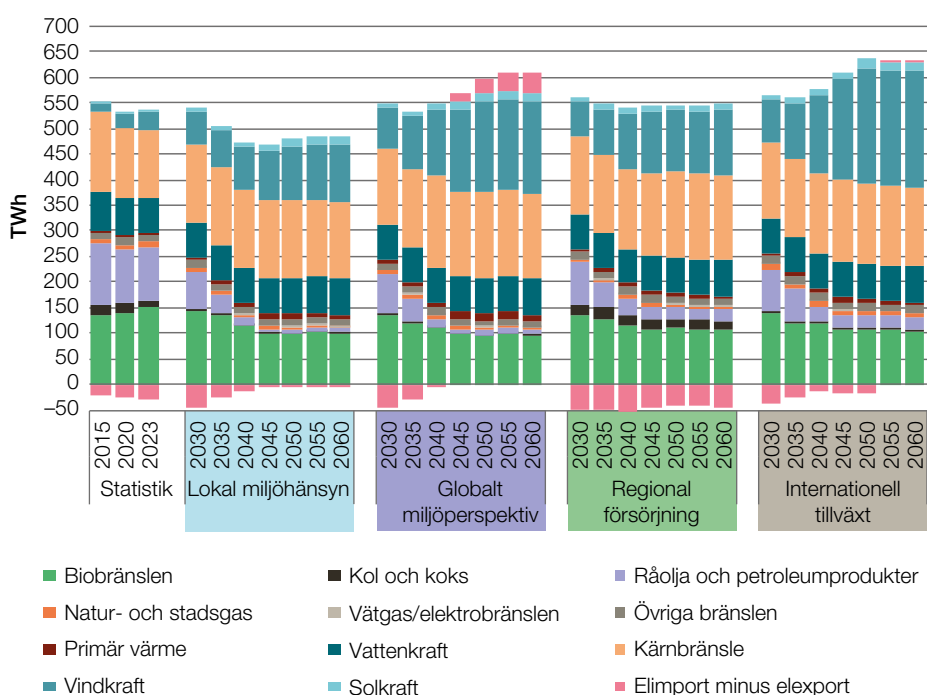
Den huvudsakliga skillnaden mellan scenarierna är hur mycket vindkraft som byggs i respektive scenario. För kärnkraften drifttidsförlängs dagens befintliga sex reaktorer i samtliga scenarier medan ny kärnkraft byggs i alla scenarier utom i *Lokal miljöhänsyn*. Kärnkraften påverkar hur mycket kärnbränsle²⁹ som tillförs energisystemet.

²⁸ För 2023 finns det en statistisk differens som förklarar skillnaden mellan totalt tillförd och totalt använd energi.

²⁹ På grund av att verkningsgraden i kärnkraftverk är relativt låg och att spillvärmen inte tas omhand är omvandlingsförlusterna stora och just kärnkraft har därför stor påverkan på tillförd energi och energianvändningen i en energibalans.

Gemensamt för samtliga scenarier är att mängden tillförda fossila bränslen i form av olje- och kolprodukter, naturgas och övrigt bränsle minskar kraftigt³⁰, vilket beskrivs närmare i avsnitt 5.3. De fossila bränslena minskar mest i *Globalt miljöperspektiv* och *Lokal miljöhänsyn* där minskningen är drygt 80 procent 2050 jämfört med 2023. I *Regional försörjning* och *Internationell tillväxt* är minskningen cirka 60 respektive 65 procent.

I modelleringens resultat minskar också användningen av biobränslen i samtliga scenarier. Jämfört med 2023 års användning på 150 TWh minskar den med omkring 40–50 TWh till 2050. En minskad användning av biobränslen ses i samtliga sektorer men framför allt som bränsle för fjärrvärmeproduktion och i transportsektorn.



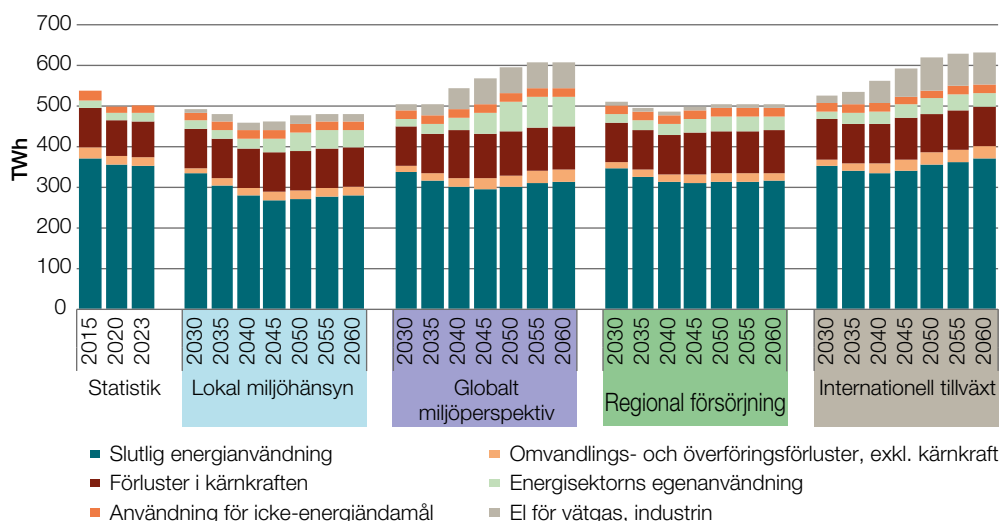
Figur 8. Total energitillförsel (inkl. nettoimport/export av el) per energibärare 2015 och 2020, 2023 samt i scenarierna till 2060, TWh.

I energisystemet är det balans mellan tillförd och använd energi, det vill säga att totalt tillförd energi motsvarar total energianvändning. I scenarierna är total energianvändning därmed också mellan 475–620 TWh, vilket kan ses i Figur 9. I *Lokal miljöhänsyn* är total energianvändning lägst och lägre än dagens nivå redan från 2030 medan den högsta energianvändningen ses i *Internationell tillväxt*. I *Lokal miljöhänsyn* är total energianvändning fem procent lägre 2050 jämfört med 2023 och i *Regional försörjning* är nivån på ungefär samma nivå som idag. I de övriga scenarierna *Globalt miljöperspektiv* och *Internationell tillväxt* är total energianvändning 20 respektive 23 procent högre än 2023.

Slutlig energianvändning var 353 TWh 2023 och i *Internationell tillväxt* är den i princip oförändrad 2050 för att vara mellan 11–23 procent lägre i övriga scenarier.

³⁰ I en energibalans ingår den energi som används i landet vilket gör att det endast är förlusterna i ett raffinaderi som redovisas. Insatta energiråvaror som används för produktion av drivmedel som sedan exporteras ingår därför inte. Utrikes transporter ingår därför inte heller i en energibalans.

I *Globalt miljöperspektiv* byggs mest ny kärnkraft vilket ökar posten förluster i kärnkraft och det är även det scenario som har en stor produktion av biodrivmedel i raffinaderier vilket påverkar posten energisektorns egenanvändning mest. I *Globalt Miljöperspektiv* och *Internationell tillväxt* används också mest el för produktion av vätgas inom industrin vilket går att se i Figur 9.



Figur 9. Total energianvändning 2015, 2020 och 2023 och scenarier till 2060, TWh.

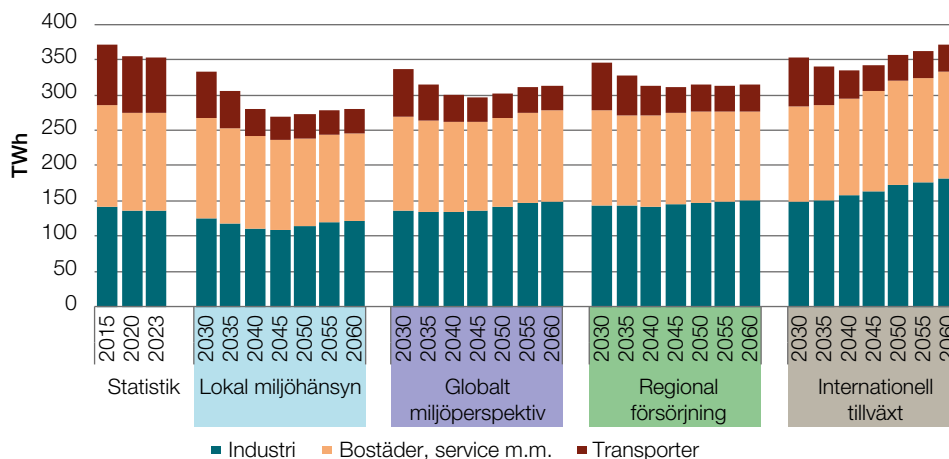
3.2 Slutlig energianvändning

Slutlig energianvändning är den energianvändning som sker i sektorerna industri, inrikes transporter och bostäder och service m.m.³¹ I scenarierna minskar den slutliga energianvändningen jämfört med dagens användning med undantag för *Internationell tillväxt* där den är på dagens nivå omkring 2050 för att därefter bli något högre vilket går att se i Figur 10. En mer detaljerad beskrivning av sektorernas energianvändning finns i Bilaga A –Resultatbilaga.

Inom industrin ökar energianvändningen som mest med 36 TWh i *Internationell tillväxt* mellan 2023–2050 medan den i stället minskar med 22 TWh i *Lokal miljöhänsyn*.³² För inrikes transporter minskar energianvändningen med mellan 41 och 44 TWh mellan 2023–2050 i de olika scenarierna. Minskningen är starkt kopplad till elektrifieringen av vägtransporter då en elmotor är mer energieffektiv än en konventionell förbränningsmotor. I sektorn bostäder och service m.m. minskar energianvändningen med 11–15 TWh till 2050 i jämförelse med 2023 med undantag för i *Internationell tillväxt* där energianvändningen i stället ökar med åtta TWh.

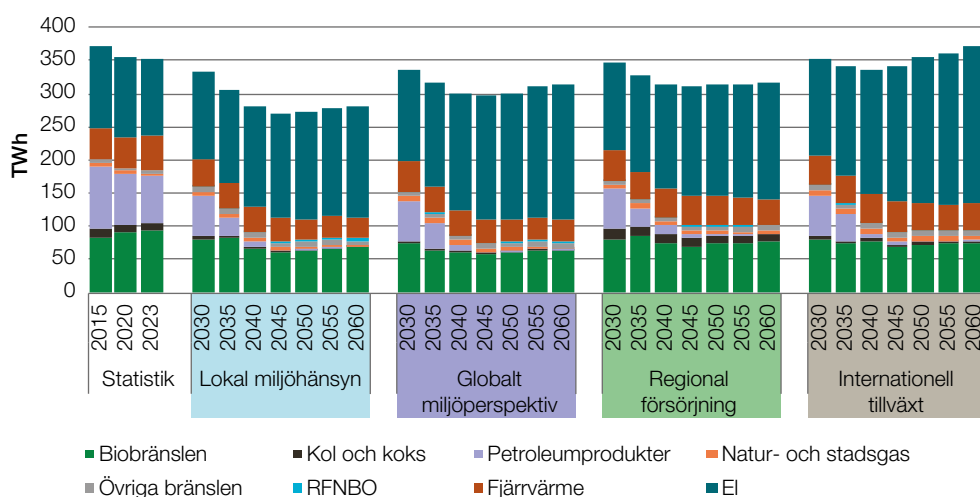
³¹ Bostäder och service m.m. inkluderar även bland annat jord-, skogsbruk samt fiske. Även datacenter ingår i sektorn.

³² Industrins omställning ger utöver det även behov av el för produktion av vätgas i scenarierna vilket är en post som nu ligger som en egen post och inte inkluderad i slutlig energianvändning. Det är i dagsläget inte fastställt inom EU var denna post ska finnas i en energibalans.



Figur 10. Slutlig energianvändning per sektor 2015, 2020 och 2023 och scenarier till 2060, TWh.

I samtliga scenarier fortsätter användningen av fossila bränslen att minska. En utveckling som inte ses historiskt men däremot framåt i scenarierna är en kraftigt ökad användning av el, minskad användning av fjärrvärme samt minskad användning av biobränslen. Slutlig användning per energikälla framgår av Figur 11.



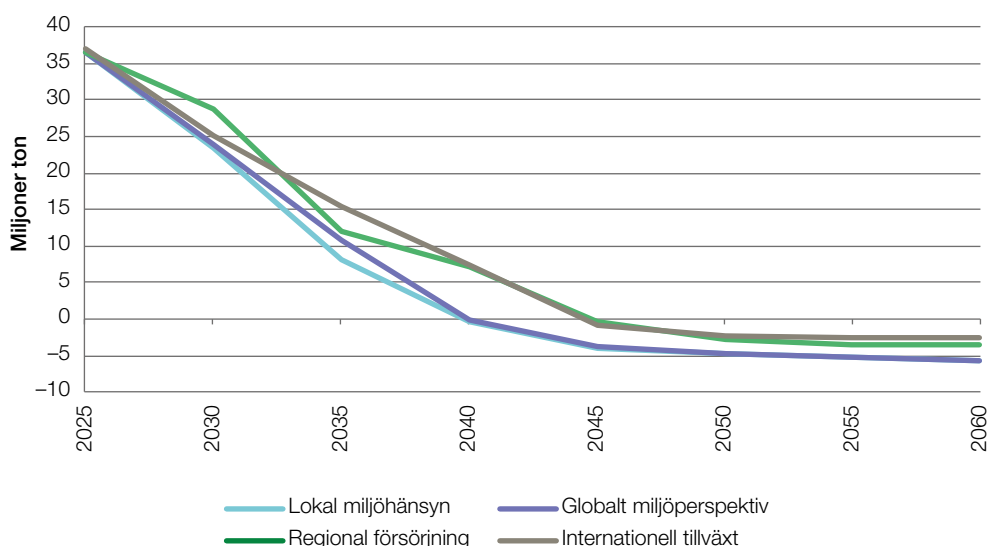
Figur 11. Slutlig energianvändning per energikälla 2015, 2020 och 2023 och scenarier till 2060, TWh.

Tidsperspektiv

Resultat för scenarierna redovisas vart femte år fram till 2060. Det är viktigt att lyfta fram att osäkerheterna kring framtiden är väldigt stora även på kort sikt, det gäller såväl olika nivåer på användningen som när i tiden en viss utveckling sker. Det innebär att något som infaller 2035 i scenarierna lika gärna kan ske 2030 eller 2040 beroende på vad som avses. Därför är det viktigt att inte fokusera på resultatet för enskilda nedslagsår eller exakta nivåer av ett visst produktionsslag utan i stället betrakta hur utvecklingen ser ut över tid och under vilka antaganden den sker. På ännu längre sikt till 2050–2060 blir detta än viktigare eftersom osäkerheterna är ännu större ju längre in i framtiden man kommer.

3.3 Vägen till nettonollutsläpp

Det uttalade målet med scenarierna är att uppnå nettonollutsläpp inom energisystemet 2050 och med de förutsättningarna minskar därför koldioxidutsläppen kraftigt i samtliga scenarier (se Figur 12). I *Lokal miljöhänsyn* och *Globalt miljöperspektiv*, scenarierna med högst pris på utsläppsätter, möts nettonollmålet redan 2040. I *Regional försörjning* och *Internationell tillväxt* nås nettonollmålet 2045. Samtliga scenarier når därefter negativa utsläpp. Att samtliga scenarier uppnår nettonollutsläpp innan 2050 visar på att priset för utsläppsätter har en direkt påverkan på de resulterande utsläppen eftersom utsläppen minskar trots att modellen ger möjligheten att släppa ut koldioxid. Det är samtidigt viktigt att poängtera att koldioxidutsläppen enbart tar hänsyn till energisystemets utsläpp. Scenarierna tar inte hänsyn till exempelvis lagring i skog och mark (den så kallade LULUCF-förordningen³³) eller icke energirelaterade utsläpp från jordbruket. De presenterade utsläppen ska snarare ses som hur energisystemet potentiellt kan bidra till Sveriges övergripande klimatmål utan någon ytterligare bedömning om de presenterade utsläppsbanorna är tillräckligt ambitiösa eller inte.



Figur 12. Resulterande nettoutsläpp av koldioxid från Sveriges energisystem 2025–2060, miljoner ton.

Trots att nettonollmålet nås försvinner inte alla utsläpp av fossil koldioxid. I samtliga scenarier antas en infångning och lagring av biogen koldioxid om runt sex miljoner ton ske, vilket grundar sig i aviserade projekt samt Energimyndighetens stödsystem med omvända auktioner för biogen koldioxidinfångning (bio-CCS)³⁴. Dessa sex miljoner ton bidrar till utsläppsmålet, vilket möjliggör ett visst utsläpp av fossil koldioxid även efter 2050. En viss mängd fossila utsläpp kvarstår också över hela perioden i scenarierna och i synnerhet i *Regional försörjning* och *Internationell tillväxt*. Alla scenarier uppnår dock nettonegativa utsläpp över tid vilket visar på att dessa negativa utsläpp kan göra mer nytta för att kompensera utsläpp i andra delar av samhället så länge kostnaden för utsläppsätter och betalningsviljan för fossilfria produkter är tillräckligt hög.

³³ EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS FÖRORDNING (EU) 2018/841 av den 30 maj 2018 om inbegripande av utsläpp och upptag av växthusgaser från markanvändning, förändrad markanvändning och skogsbruk i ramen för klimat- och energipolitiken fram till 2030 och om ändring av förordning (EU) nr 525/2013 och beslut nr 529/2013/EU

³⁴ Se <https://www.energimyndigheten.se/klimat/ccs/statligt-stod-for-bio-ccs/>

Den faktiska infångningen av koldioxid är mycket högre än den som bidrar till energisystemets nettoutsläpp och kommer främst från koldioxidavskiljning vid förbränning av avlutar. I samtliga scenarier, men framför allt *Lokal miljöhänsyn* och *Globalt miljöperspektiv*, sker en infångning av biogen koldioxid för att förse produktionen av elektrobränslen med kolatomer. I *Internationell tillväxt* fångas biogen koldioxid in för att säljas till länder som antingen behöver råvara till egen bränsleproduktion eller för att tillgodoräkna sig negativa utsläpp.

Perspektiv på kriteriet för nettonollutsläpp

Samtliga scenarier utgår från att energisystemet ska uppnå nettonollutsläpp 2050, hur styrande detta krav är för de resultat som presenteras går att diskutera då förutsättningarna för minskade utsläpp i Sveriges energisystem är väldigt goda.

- El- och värmesektorn är i det närmsta redan fossilfri. Dessutom pågår satsningar på bio-CCS i fjärrvärmeanläggningar som bidrar med negativa utsläpp.
- För transportsektorn går det redan idag att se en elektrifiering av personbilar. Denna trend fortsätter i samtliga scenarier med en hög grad av elektrifiering på 2040- och 2050-talet, vilket tar bort större delen av alla fossila bränslen inom sektorn.
- Inom industrin pågår satsningar vars genomförande innebär att stora delar av nuvarande utsläppsnivåer försvinner.
- För den kvarvarande användningen av fossila bränslen medför EU ETS en kostnadsökning som tvingar fram en ökad användning av koldioxidavskiljning och lagring (CCS) eller fossilfria bränslen – oavsett om en högre eller lägre prisnivå på utsläppsrätter antas.

Även utan krav på nettonollutsläpp 2050 och med beslutade styrmedel uppnås nettonollutsläpp innan 2050 (vilket presenteras i Bilaga C – Beslutad policy scenariorresultat). Detta kräver dock att aviserade satsningar inom industrin och för biogen koldioxidinfångning blir av. Det bindande kravet på nettonollutsläpp som antas i för de utforskande scenarierna får alltså inte någon större påverkan på resultatet.

Trots att samtliga scenarier når nettonollmålet 2050 innebär de olika vägarna till målet att scenarierna resulterar i olika mängd ackumulerade utsläpp. Utsläppsbanan och de ackumulerade utsläppen kan få följd effekter på exempelvis måluppfyllnad med avseende på EU:s klimatmål 2030 och 2040 samt hur mycket dessa utsläpp påverkar mängden och priset på utsläppsrätter. Detta medför osäkerheter som inte analyserats vidare i den här rapporten.

4 Elsystemets utveckling

Elsystemet är centralt för omställningen till nettonollutsläpp – utvecklingen av både elproduktion och elanvändning har avgörande effekt på omställningens takt och riktning.

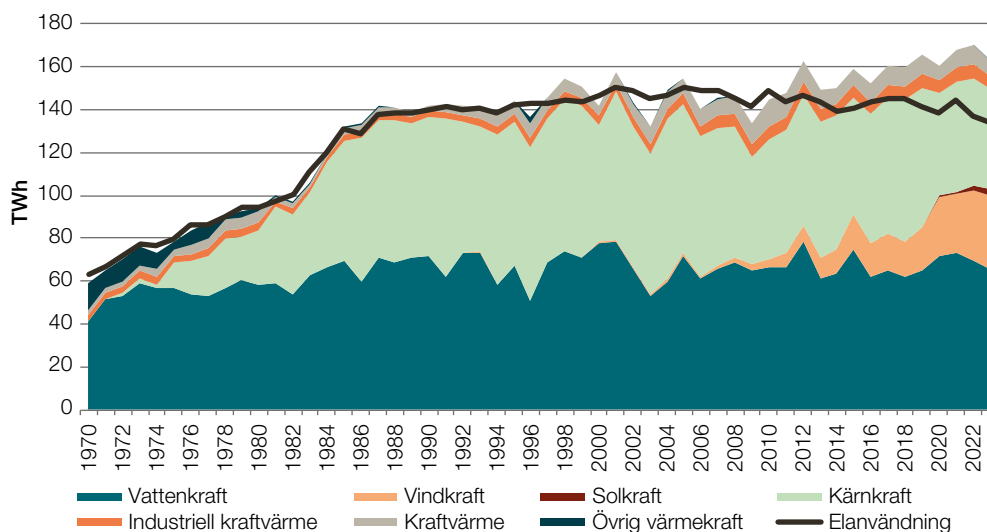
Resultat i korthet för elsystemets utveckling

- Elanvändningen ökar i samtliga scenarier, men mest i scenarier med högre grad av globalisering och stark tilltro till industrins planer på produktionsökningar.
- Vindkraften, framför allt på land, är mycket konkurrenskraftig och står för den största kapacitetsutbyggnaden och elproduktionen i scenarierna.
- Ny konventionell kärnkraft kan bli aktuellt men är känsligt för vilka kostnader som antas. Även investeringar i kärnkraftvärme från små modulära reaktorer (SMR) kopplade till större fjärrvärmesystem blir konkurrenskraftigt i vissa av scenarierna.
- Kraftvärme tappar i konkurrenskraft i samtliga scenarier på grund av ökade biobränslepriser och ökad konkurrens från värmepumpar.
- Elsystemets karaktäristik är ett resultat av de förutsättningar som ges. Det finns ett ömsesidigt beroende mellan användning, produktion och elnätutbyggnad, där en hög elanvändning inte nödvändigtvis innebär höga elpriser.

Sveriges elsystem har historiskt präglats av en stor mängd kärnkraft och vattenkraft, men sedan 2010-talet har elproduktionen från vind- och solkraft ökat kraftigt. Trots att den totala elanvändningen minskat något sedan millennieskiftet kommer elektrifieringen att resultera i ökad elanvändning i samtliga scenarier. Utfallsrummet som scenarierna utgör spänner över flera möjliga framtider både för energisystemet som helhet och för elsystemet mer specifikt. Detta beror på att elproduktionen och elanvändningen är beroende av ett antal faktorer som är känsliga för förändringar. Det kan exempelvis handla om genomförbarheten, konkurrenskraften och opinionen för industriprojekt, relevanta tekniker eller elnätets utbyggnad. Om elektrifieringstakten haltar i ett scenario behöver alternativa tekniker täcka upp för att minska växthusgasutsläppen (antingen genom uteblivna utsläpp eller genom koldioxidinfångning). På grund av elsystemets utökade roll i hela energisystemet i framtiden blir ett flertal nya frågeställningar intressanta. Hur kan exempelvis flexibilitetsåtgärder bidra till ett energieffektivt, stabilt och kostnadseffektivt elsystem bland ökande mängder variabel elproduktion?

4.1 Dagens elproduktion och användning

Den svenska elproduktionen uppgick till 163 TWh 2023, se Figur 13. Elproduktionen baseras till stor del på vattenkraft och kärnkraft som tillsammans stod för 69 procent av elproduktionen under 2023. Utbyggnaden av förnybar el har varit stor under 2000-talet, där vindkraften står för den största delen av ökningen och uppgick 2023 till 34 TWh vilket kan jämföras med mindre än en halv TWh år 2000. På senare år har även produktionen från solkraft (inklusive den produktion och användning som sker bakom mätaren och inte går ut på elnätet) ökat och uppgick 2023 till drygt tre TWh.



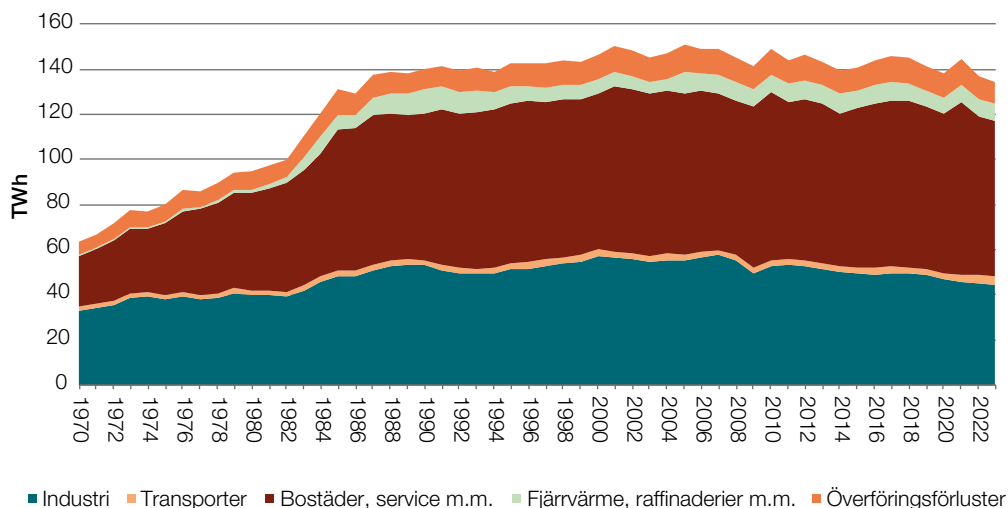
Figur 13. Sveriges elproduktion per kraftslag och total elanvändning 1970–2023, TWh.

Källa: Energimyndigheten och SCB.

I december 2023 var den totala installerade elproduktionskapaciteten 51 GW vilket är en ökning med 3,5 GW från 2022. Ökningen beror på en utbyggnad av både vind- och solkraft. Hela den installerade kapaciteten går dock inte att använda samtidigt då det finns begränsningar i tillgänglighet. Den tillgängliga kapaciteten skiljer sig åt mellan kraftslagen. Vattenkraftverk är beroende av vattentillgång och, om kraftverken ligger i samma vattendrag, även av varandras produktion. Tillgängligheten i kärnkraftverken beror på driftsituationen och när de årliga revisionerna infaller. För vindkraften beror tillgängligheten på om, var och hur mycket det blåser. Effektsituationen kan då bli mer ansträngd under perioder med högre elanvändning än normalt och/eller låg tillgänglig kapacitet. Det inträffar typiskt under vintern vid tillfällen då behovet av uppvärmning är stort och tillgängligheten i något av kraftslagen är begränsat.

Den totala elanvändningen inklusive överföringsförluster var 134 TWh under 2023, se Figur 14. Drygt hälften av denna användning skedde i bostäder och service m.m. och industrins elanvändning uppgick till 44 TWh. Transportsektorns elanvändning (som inkluderar spårbunden trafik) uppgick 2023 till fyra TWh.

Efter 2000 har elanvändningen minskat svagt även om användningen varierar något mellan åren. De höga elpriserna under 2022 och 2023 ledde till att elanvändningen 2023 var den lägsta sedan 1980-talet. Under 2023 var svensk nettoexport av el 29 TWh. Sverige har nettoexporterat el varje år sedan 2011 och volymerna har ökat de senaste åren.



Figur 14. Elanvändning totalt och per sektor 1970–2023, TWh.

Källa: Energimyndigheten och SCB.

4.2 Förutsättningar för ny elproduktion

I samtliga scenarier som presenteras och analyseras kommer en kraftig elektrifiering att ske på lång sikt men utfallsrummet är mycket stort. Elanvändningen ökar från 134 TWh 2023 till mellan 223–357 TWh 2050. I de fyra scenarierna finns också ett huvudvillkor att EU och därmed också Sverige uppnår nettonollutsläpp 2050. Scenarierna ger en bild av hur elsystemet *kan* utvecklas med olika förutsättningar för ny elproduktion mot bakgrund av de scenarioberättelser som beskrivs i avsnittet 2.2.

Att utfallsrummet blir så stort trots att målet om nettonollutsläpp till 2050 är detsamma beror på att det finns en stor realiserbar potential för konkurrenskraftig el i Sverige, men om det uppstår hinder för utbyggnaden kommer inte industrisatsningar ske i samma utsträckning (detsamma gäller även för begränsningar av andra bränslen). Utvecklingen av både elanvändningen och elproduktionen är också beroende av acceptans för exempelvis nya gruvor eller utbyggnad av elnät. Dessutom påverkar den globala ekonomin både möjligheten för handel och teknikutveckling som är en förutsättning för en hög grad av elektrifiering. Eftersom antagandena för dessa påverkansfaktorer är olika i de olika scenarierna blir också resultatet i scenarierna olika.

För att analysera olika utvecklingsvägar för elproduktion har en utgångspunkt varit att fokusera på de kraftslag som bedöms ha en relativt stor potential att bidra till en utbyggnad av elproduktionskapaciteten. Den stora skillnaden mellan de scenarier som undersöks ligger därför i utbyggnaden av kraftslagen land- och havsbaserad vindkraft, kärnkraft samt solkraft. Även om vattenkraft fortsatt kommer att spela en viktig roll i framtidens elsystem skiljer sig inte förutsättningarna åt mellan scenarierna. För kraftvärme finns inte heller några skillnader i realiserbar potential mellan scenarierna, däremot varierar tillgången på biobränslen som i sin tur påverkar kraftvärmens konkurrenskraft. I följande stycken beskrivs övergripande förutsättningarna för elproduktionen i de olika scenarierna. För respektive scenario anges den maximala realiserbara potentialen för utbyggnad av olika produktionstekniker som kan byggas i de fall det är lönsamt. Mer detaljerat om förutsättningarna finns att läsa i Bilaga B – Metodbilaga.

I *Lokal miljöhänsyn* är förutsättningarna för ny elproduktion mycket begränsad i förhållande till övriga scenarier. Det finns möjlighet att drifttidsförlänga de befintliga reaktorerna om det är lönsamt med det finns ingen möjlighet att bygga ny kärnkraft. Vidare är den realiserbara potentialen för landbaserad vindkraft kraftigt begränsad och uppgår till 70 TWh totalt. Även den realiserbara potentialen för havsbaserad vindkraft är lägst i detta scenario och uppgår till 120 TWh totalt. För solkraft är den realiserbara potentialen på mark begränsad men för utmatning av småskalig solelsproduktion antas ett stöd liknande den så kallade ”60-öringen” finnas.

I *Globalt miljöperspektiv* uppgår den realiserbara potentialen för vindkraft på land till 100 TWh och 180 TWh för vindkraft till havs. I scenariot är det också möjligt att bygga ny kärnkraft på befintliga platser. På samma sätt som i *Lokal miljöhänsyn* är den realiserbara potentialen att bygga markbaserad solkraft begränsad. En viktig skillnad mellan *Globalt miljöperspektiv* och *Lokal miljöhänsyn* är att kostnadsutvecklingen för vindkraft (främst till havs) och solkraft sjunker relativt mycket i slutet av scenarioperioden i *Globalt miljöperspektiv*. Det innebär att dessa kraftslag blir mer konkurrenskraftiga relativt andra kraftslag.

I *Regional försörjning* ökar den realiserbara potentialen för vindkraft på land ytterligare och uppgår till 165 TWh. Realiserbar potential för vindkraft till havs uppgår till 150 TWh. I det här scenariot finns det obegränsade möjligheter att bygga ny kärnkraft tillsammans med möjligheten att bygga småskaliga reaktorer (SMR) kopplat till större fjärrvärmesystem. Det senare innebär att den typen av kärnkraft också får en potentiell intäktskälla av att leverera värme till ett fjärrvärmesystem. För solkraft på mark är också den realiserbara potentialen mycket hög.

I *Internationell tillväxt* är den realiserbara potentialen för ny elproduktion som störst. För vindkraft på land uppgår den till 200 TWh och för havsbaserad vindkraft uppgår den till 240 TWh. Realiserbar potentialen för utbyggnad av ny kärnkraft är densamma som i *Regional försörjning*, det vill säga obegränsad. Även här finns det möjlighet att bygga småskaliga reaktorer kopplat till större fjärrvärmesystem. För solkraft på mark är också potentialen mycket hög. Precis som i *Globalt miljöperspektiv* blir vindkraft (främst till havs) och solkraft mer konkurrenskraftigt över tid relativt andra kraftslag.

På elmarknaden, precis som på andra marknader, finns en långsiktig och ömsesidig växelverkan mellan utbud och efterfrågan vilket innebär att den elproduktionsmix vi har och den el som efterfrågas beror av varandra. Denna process styrs på en avreglerad marknad av pris-signaler (det faktiska och förväntade framtida elpriset). Elproducenter kommer inte att satsa på att bygga nya anläggningar om priset är för lågt och/eller om det inte förväntas en större efterfrågan på el i framtiden som gör att producenten får avsättning för elproduktionen.

Det är också viktigt att poängtera att elsystemet under de närmaste 20–30 åren genomgår en omfattande förändring som gör utfallet osäkert. Runt 100 TWh elproduktion når sin ekonomiska livslängd samtidigt som en potentiellt stor förändring av elanvändning sker både med avseende på hur el används och hur mycket el som kommer att användas i framtiden. Samtidigt finns en stor möjlig realiserbar potential för vindkraft och solkraft samt en möjlighet till både drifttidsförlängning och nybyggnation av kärnkraft. Det finns därmed ett stort utfallsrum och möjliga scenarier beroende på vilka antaganden som görs. Det bör också påpekas att det svenska elsystemet är starkt beroende av utvecklingen i omvärlden exempelvis elanvändningen i Nordeuropa, utvecklingen av de internationella bränsle- och utsläppspriser och överföringskapacitet mellan länder.

Att göra potentialbedömningar långt fram i tiden

Begreppet *potential* är egentligen inget väldefinierat begrepp men nedan följer ett försök till att dela upp begreppet i olika nivåer för att kunna resonera kring de antaganden som görs för de olika scenarierna.

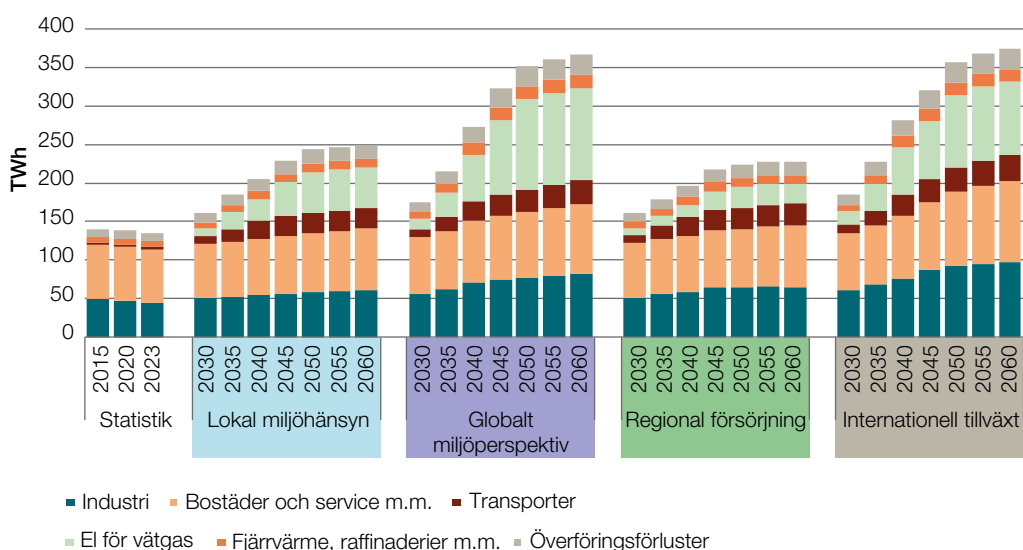
Uppskattningar av potential för framtida elproduktion är alltid kopplade till olika typer av begränsningar. Det kan handla om den tillgängliga resurser eller begränsningar i den tekniska, praktiskt genomförbara (realiserbara) eller ekonomiska *potentialen*. Exempelvis är den tekniska potentialen för vindkraft i Sverige väldigt stor till följd av Sveriges geografiska förutsättningar med stora obebyggda ytor, långa kuststräckor och höga medelvindhastigheter. Den tekniska potentialen för solkraft är framför allt kopplat till tillgängliga takytor samt obebyggd mark. Den realiserbara är däremot betydligt lägre då begränsningar såsom tillgång till elnätet, överföringskapacitet, eller acceptans för användande av land- och vattenområden eller olika typer av tekniker påverkar.

Den realiserbara potentialen för ett kraftslag är oftast problematisk att kvantifiera då faktorer som påverkar kan förändras i takt med att elsystemet och samhället utvecklas. Exempelvis kan tekniska lösningar möjliggöra för elsystemet att hantera en högre andel variabel produktion. Dessutom kommer lönsamhet att vara centralt för vad som faktiskt byggs ut vilket kan benämnas som ekonomisk potential. Lönsamhet är starkt sammankopplad med de faktorer som kategoriseras under den realiserbara potentialen eftersom den beror på systemfaktorer så som tillgängligheten till energiresursen och hur produktionen från energiresursen kan nyttjas och värderas i systemet.

I den här scenarioanalysen har en realiserbar potential för olika kraftslag uppskattats för de olika scenarierna mot bakgrund av scenarioberättelserna. Denna potential används sedan som en maximal potential i de energisystemmodelleringar som genomförs. Resultatet, dvs hur mycket av de olika elproduktionsteknikerna som byggs ut, beror sedan på hur lönsamt det blir att investera i olika elproduktionstekniker i den optimeringsmodell som används. Det innebär att det kan finnas stor skillnad mellan antagen potential för ett kraftslag och hur mycket som i slutändan byggs av det kraftslaget.

4.3 En elektrifiering av samhället

Den totala användningen av el visar på stora skillnader mellan scenarierna. I *Regional försörjning* är elanvändningen 223 TWh 2050, vilket är lägst bland scenarierna. Samtidigt ses en elanvändning på 357 TWh 2050 i *Internationell tillväxt*, vilket ger ett utfallsrum på 134 TWh mellan scenarierna. Trots de stora skillnaderna ses en trend i alla scenarier som pekar mot en elektrifiering av samhället, då elanvändningen ökar i samtliga scenarier från en elanvändning på 134 TWh 2023. Se Figur 15.



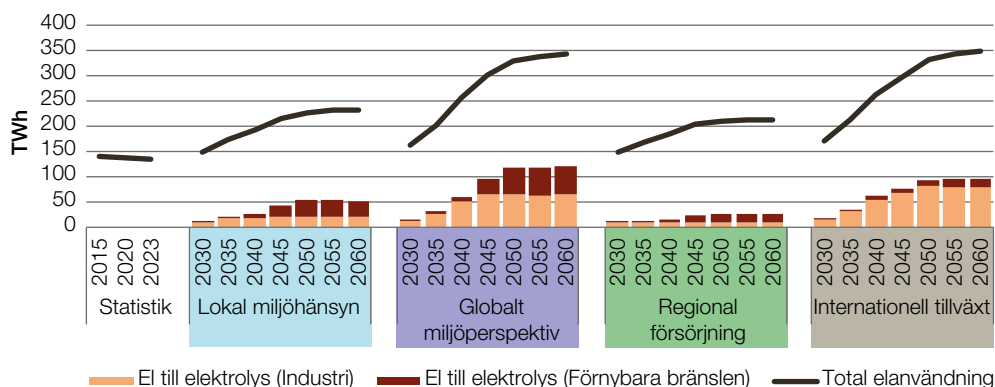
Figur 15. Elanvändning i Sverige uppdelat per sektor 2015, 2020, 2023 samt per scenario 2030–2060, TWh.

Elanvändningen ökar i samtliga användarsektorer i energisystemet. Det enda undantaget är el som används till uppvärmning där en ökande användning av värmepumpar och energieffektivisering bidrar till att minska elanvändningen. Samtidigt bidrar värmepumparna till att en ökande andel av uppvärmningen elektrifieras. I sektorn bostäder och service m.m. sker annars inga större förändringar av elanvändningen för bostäder. Däremot ökar elanvändningen för datacenter i scenarierna, med en högre elanvändning i scenarier med högre grad av globalisering (*Globalt miljöperspektiv* och *Internationell tillväxt*).

I transportsektorn sker en snabb och betydande elektrifiering av fordonsflottan. Elektrifieringen antas gå snabbare med högre globalisering, vilket också innebär mer optimistiska antaganden för möjligheten att elektrifiera tunga transporter. Detta leder till en något högre, och snabbare ökande elanvändning 2025–2050 i scenarierna *Globalt miljöperspektiv* och *Internationell tillväxt*. Skillnaderna är dock små mellan scenarierna och övergången till en elektrifierad drivlina ses i samtliga scenarier i en takt som maximerar den antagna realiserbara potentialen. Undantaget är de största tunga lastbilarna, där vätgasbränsleceller premieras över batterier så länge kostnaden för batterier inte sjunker (vilket vi antar att den gör i *Globalt miljöperspektiv* och *Internationell tillväxt*). Även skillnader i antaget transportarbete påverkar elanvändningen vilket förklarar varför elanvändningen för transportsektorn 2050 är högst i *Internationell tillväxt* och lägst i *Lokal miljöhänsyn*. Indirekt ökar även elbehovet i *Lokal miljöhänsyn* och *Globalt miljöperspektiv* då transportsektorns (men även industrins) behov av bränslen i större utsträckning tillgodoses via elektrobränsleproduktion när efterfrågan på fossilfria bränslen ökar samtidigt som biomasstillgången begränsas.

Inom industrin sker också en betydande elektrifiering. Den ökade elanvändningen är främst ett resultat av antaganden kring tillkommande industrisatsningar, vilket både leder till ökad el- och vätgasanvändning i huvudsak inom stålindustrin. Den ökande elanvändningen är också en effekt av att produktionen inom industrin ökar i de flesta branscherna samt av att trädbänslen ersätts av el.

Av den totala elanvändningen 2050 används en betydande mängd el till framställning av vätgas i elektrolysörer (se Figur 16). Vätgasen används inom industrin samt för att producera fossilfria bränslen (inklusive vätgas som används direkt som bränsle). Industrins elanvändning för vätgasproduktion är som högst i *Globalt miljöperspektiv* och *Internationell tillväxt* till följd av att fler aviserade projekt antas bli av, framför allt inom stålindustrin. I *Regional försörjning* medför antaganden kring stålindustrins omställning att elanvändningen för vätgas blir lägst av de olika scenarierna. Elanvändningen för vätgas till produktion av fossilfria bränslen är högre i *Lokal miljöhänsyn* och *Globalt miljöperspektiv* där biomasstillgången är begränsad samtidigt som behovet av fossilfria bränslen är högt. Läs mer om utvecklingen av elektrobränslen, biomassa och vätgas i avsnitt 5.3.

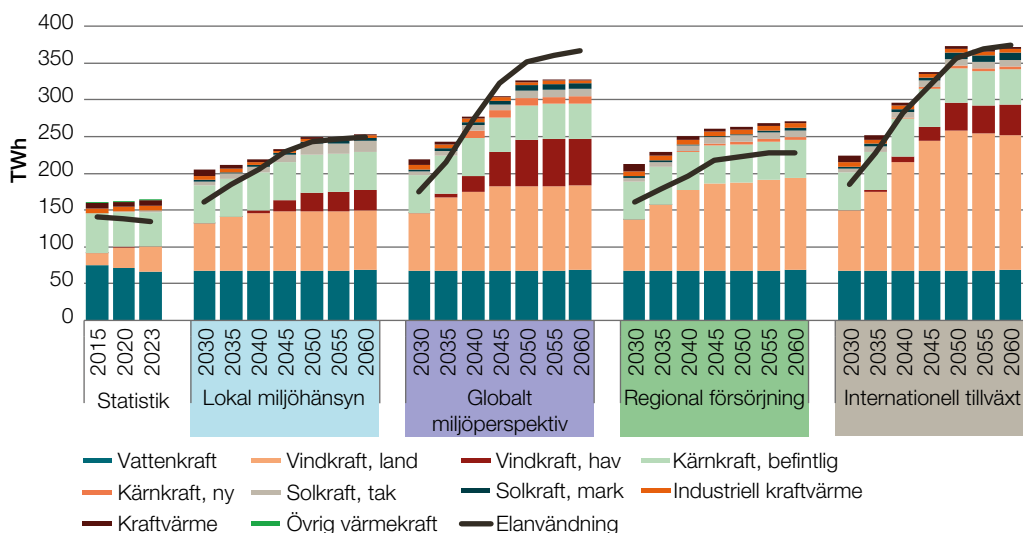


Figur 16. Användning av el till produktion av vätgas i scenarierna 2030–2060 och total elanvändning 2015, 2020 och 2023 samt i scenarierna, TWh.

4.3.1 Landbaserad vindkraft är konkurrenskraftig men kraftvärmen har större utmaningar

Den totala elproduktionen, som redovisas i Figur 17, varierar stort mellan de olika scenarierna och uppgår till mellan 250–370 TWh år 2050. Den stora variationen mellan scenarierna beror på att den realiserbara potentialen och kostnaden att bygga ut ny elproduktion skiljer sig, men beror även på stora skillnader i efterfrågan på el. Det ger tillsammans olika förutsättningar för ny elproduktion.

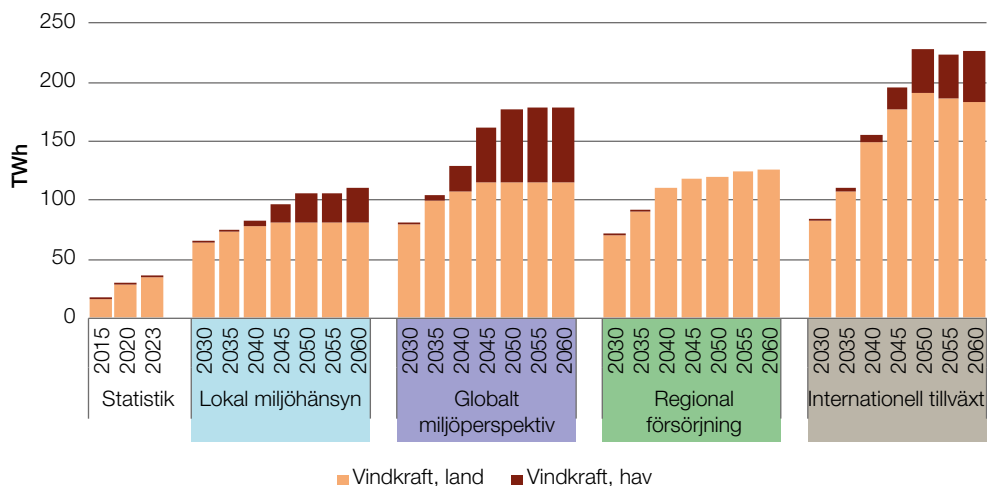
Lägst elproduktion på längre sikt går att se i *Lokal miljöhänsyn*. I det scenariot är också den realiserbara potentialen för ny elproduktion som lägst med en relativt låg realiserbar potential för landbaserad vindkraft och ingen möjlighet att bygga ny kärnkraft. Även kostnadsutvecklingen för ny elproduktion är konservativ. Det tillsammans med en låg efterfrågan på el innebär sämre förutsättningar för ny elproduktion. Nivån på elproduktionen är nästan på samma nivå i *Regional försörjning* om än något högre. Där är dock den realiserbara potentialen för landbaserad vindkraft betydligt större samtidigt som elanvändningen är lägre. Det resulterar i att mängden havsbaserad vindkraft blir relativt begränsad. Högst elproduktion återfinns i *Internationell tillväxt* och *Globalt miljöperspektiv*. I båda dessa fall är det relativt lägre kostnader för ny förnybar elproduktion jämfört med de två andra scenarierna samtidigt som realiserbar potential för ny elproduktion, framför allt i *Internationell tillväxt*, är väldigt stor. I *Globalt miljöperspektiv* är den realiserbara potentialen och därmed utbyggnaden av landbaserad vindkraft relativt låg jämfört elbehovet. Detta medför att elproduktionen i länder utanför Sverige får en ökad konkurrenskraft och leder till en nettoimport av el.



Figur 17. Elproduktion uppdelat på produktionsslag och elanvändning 2015, 2020, 2023 samt per scenario 2030–2060, TWh.

Vindkraften ökar i samtliga scenarier

I samtliga scenarier sker en utbyggnad av vindkraften från dagens nivåer, se Figur 18. Landbaserad vindkraft är i regel ett av de mest lönsamma kraftslagen att nyinvestera i till följd av en relativt låg kostnadsnivå. Det innebär att landbaserad vindkraft i princip alltid byggs före ny kärnkraft och havsbaserad vindkraft i modellen och det är den antagna realiserbara potentialen som sätter begränsningen i utbyggnaden. Däremot skiljer sig den realiserbara potentialen kraftigt på lång sikt mellan de olika scenarierna där den är klart lägst i scenariot *Lokal miljöhänsyn* med cirka 70 TWh och störst i *Internationell tillväxt* med cirka 200 TWh.



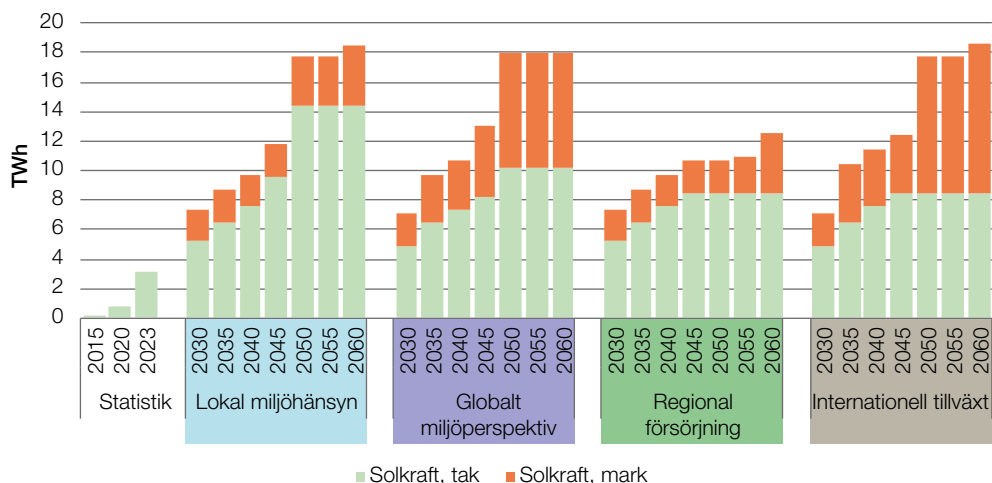
Figur 18. Vindkraft på land och till havs 2010, 2015, 2020, 2023 samt per scenario 2030–2060, TWh.

Havsbaserad vindkraft byggs ut i samtliga scenarier förutom *Regional försörjning*. Den är typiskt dyrare än landbaserad vindkraft och i scenarierna med högre globalisering är också delar av den realiserbara potentialen för havsbaserad vindkraft billigare än ny kärnkraft. Det resulterar i en produktion som uppgår till cirka 60 TWh 2050 i *Globalt miljöperspektiv*. I och med att regeringen under hösten 2024 sade nej till ett stort antal planerade vindkraftsparker till havs har det varit en diskussion kring förutsättningar för havsbaserad vindkraft.³⁵ Faktum är dock att Sverige har en väldigt lång kuststräcka och därmed en stor möjlig realiserbar potential för havsbaserad vindkraft. Det innebär att det, trots regeringens avslag, torde finnas utrymme för den havsbaserade vindkraften som kommer in i de här scenarierna.

Solkraften ökar också

Solkraften, som redovisas i Figur 19 ökar i samtliga scenarier från dagens nivåer och byggs ut till mellan tio och 18 TWh år 2050. Lägst är utbyggnaden i *Regional försörjning* där den realiserbara potentialen för andra kraftslag är relativt stor samtidigt som elanvändningen är relativt låg. I de övriga scenarierna byggs solkraften ut till ungefär samma nivå om än med lite olika sammansättning av solkraft på tak respektive mark. Det är också olika förutsättningar som leder till en utbyggnad där det i *Lokal miljöhänsyn* inte är möjligt att bygga ny kärnkraft och realiserbar potential för landbaserad vind är relativt låg medan de två andra scenarierna med hög solesproduktion också har en väldigt hög elanvändning som skapar förutsättningar för mer solkraft.

³⁵ Regeringskansliet (2024).

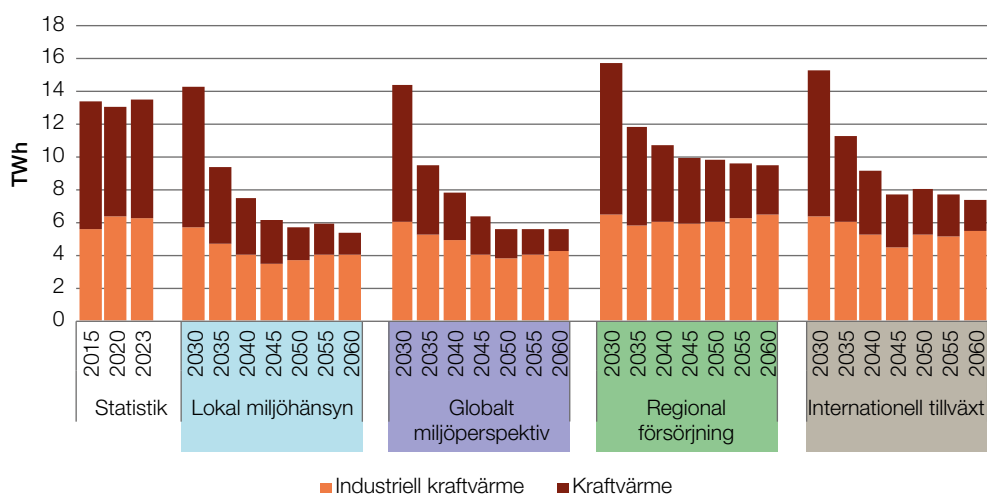


Figur 19. Solkraft på mark och tak 2010, 2015, 2020, 2023 samt per scenario 2030–2060, TWh.

Anm. I statistiken fram till 2023 finns ej uppdelning på tak och mark utan det redovisas i kategorin tak.

Kraftvärmen tappar konkurrenskraft i samtliga scenarier

I samtliga scenarier minskar den installerade effekten och elproduktionen från kraftvärmen, vilket syns i Figur 20. Det finns flera faktorer som bidrar till att kraftvärmen blir mindre konkurrenskraftig i framtiden i de scenarier som Energimyndigheten tagit fram. Den viktigaste förklaringen är att konkurrensen om biomassan ökar och gör den mer attraktiv att använda i andra delar av energisystemet, främst för biodrivmedelsproduktion. Detta sker redan till 2035 i scenarierna och beror framför allt på ökade krav på inblandning av biodrivmedel i flyg- och sjöfart, vilket drivs på av nya EU-förordningar.

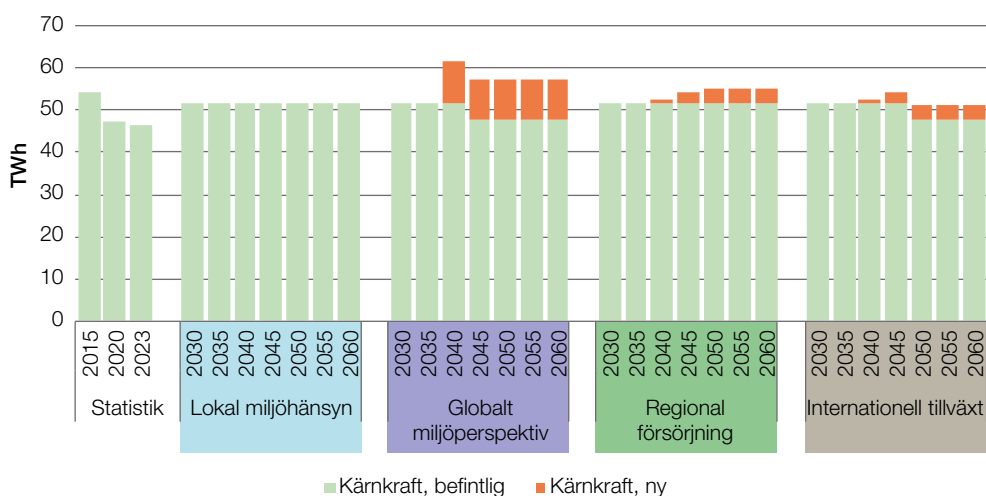


Figur 20. Elproduktion från kraftvärme och industriellt mottryck 2010, 2015, 2020, 2023 samt per scenario 2030–2060, TWh.

Den ökade konkurrensen om biomassan gör att priset ökar vilket i sin tur leder till att fjärrvärmen tappar i konkurrenskraft på värmemarknaden till förmån för framför allt värmepumpar och energieffektivisering. Vidare leder klimatförändringarna på sikt till att värmebehovet i befintlig bebyggelse minskar vilket också påverkar värmeunderlaget för fjärrvärmen negativt. När värmeunderlaget minskar, minskar också den ekonomiska potentialen för kraftvärme.

Kostnadsantaganden avgörande för ny kärnkraft och även kärnkraftsvärme kan bli intressant i framtiden

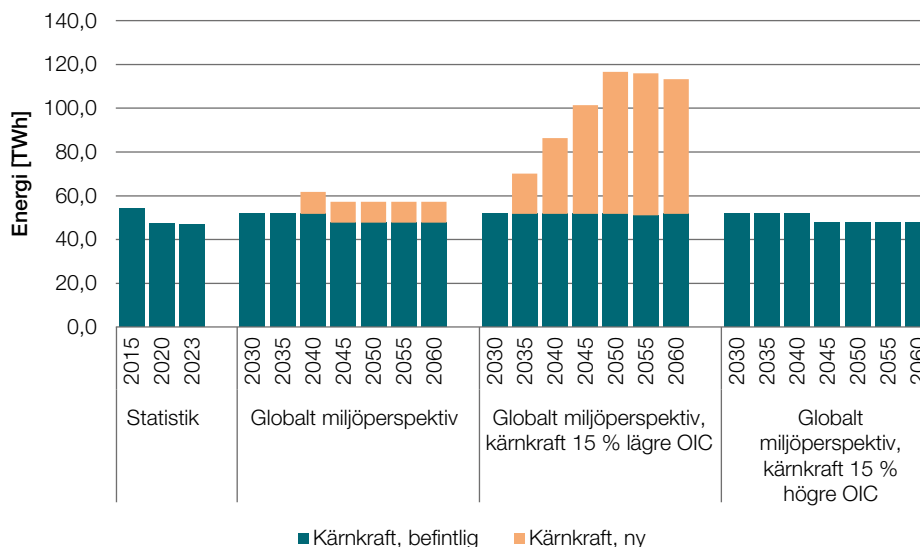
I Figur 21 redovisas utvecklingen för befintlig och ny kärnkraft och det investeras i ny kärnkraft i samtliga scenarier förutom i *Lokal miljöhänsyn* där denna möjlighet inte finns. I *Regional försörjning* och *Internationell tillväxt* sker dessa investeringar inte i vanliga konventionella kärnkraftsreaktorer utan i så kallad kärnkraftsvärme som utgörs av SMR kopplat till större fjärrvärmesystem. Intäkter från värmeförsäljning gör det mer intressant att investera i detta trots en högre investeringskostnad än konventionell kärnkraft. De ökade kostnaderna för kraftvärmeproduktion när biobränslepriserna stiger gör det också mer intressant att investera i andra alternativ på el- och värmemarknaden.



Figur 21. Elproduktion från befintlig och ny kärnkraft 2010, 2015, 2020, 2023 samt per scenario 2030–2060, TWh.

Att bedöma och sätta kostnadsantaganden för ny kärnkraft är svårt. Det finns stor variation i kostnaden för projekt som genomförts runt om i världen där de senaste projekten i Europa indikerar väldigt höga kostnader medan kostnaden för att bygga kärnkraft i till exempel Sydkorea verkar kunna vara betydligt lägre³⁶. Energimyndigheten har i tidigare analyser också sett att resultaten (elproduktionsmixen) är väldigt känslig för vilka kostnadsantaganden som används för ny kärnkraft. Mot bakgrund av detta har ett antal känslighetsanalyser för ny kärnkraft gjorts för samtliga scenarier. I Figur 22 redovisas resultaten av känslighetsanalyserna för scenariot *Globalt miljöperspektiv*.

³⁶ World nuclear association (2023).



Figur 22. Känslighetsanalys för scenariot *Globalt miljöperspektiv* för ny kärnkraft, statistik för åren 2010, 2015, 2020, 2023 samt resultat för scenariot 2030–2060, TWh.

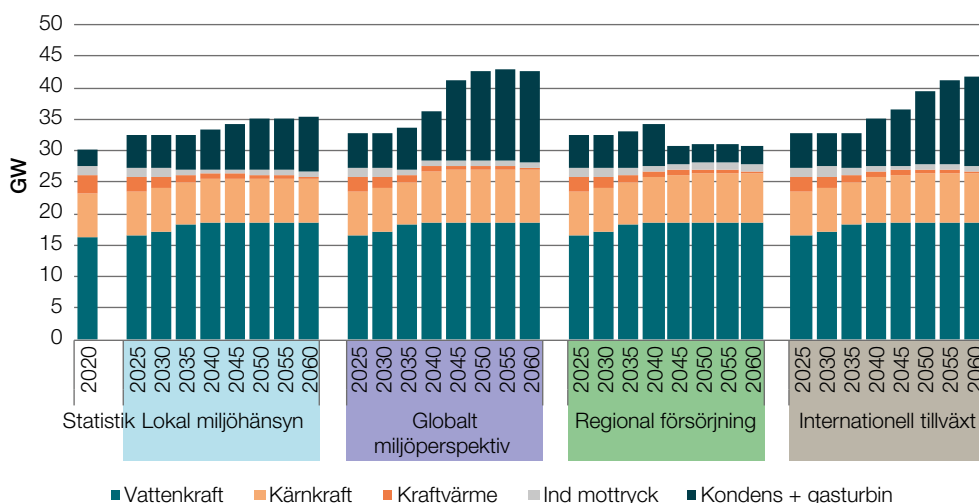
I grundantagandet uppgår investeringskostnaden (OIC—overnight investment cost) till cirka 60 000 kronor per kW i 2021 års prisnivå. I det fallet tillkommer det 1,4 GW ny kärnkraft med en årlig produktion på cirka tio TWh. Två känslighetsanalyser där detta antagande varierar med ± 15 procent har genomförts. Höjs investeringskostnaden med 15 procent sker inga investeringar i ny kärnkraft. Eftersom den installerade effekten av ny kärnkraft inte var så stor för det ordinarie kostnadsantagandet blir inte effekterna på det övriga energisystemet heller så stora av utebliven ny kärnkraft. Primärt investeras det i stället i framför allt havsbaserad vindkraft. Sänks å andra sidan investeringskostnaden med 15 procent sker det omfattande investeringar i ny kärnkraft och de första investeringarna kommer redan 2035 med 2,3 GW. I slutet av scenarioperioden uppgår den installerade kapaciteten ny kärnkraft till drygt åtta GW. En sådan omfattande förändring resulterar i att de kraftslag och tekniker som gynnades av att kärnkraften var dyrare i stället missgynnas och det sker färre investeringar i dessa. Det blir lägre investeringar i havsbaserad vindkraft, men mer investeringar i gasturbiner för topplastkapacitet.

Tittar man i stället för scenariot *Internationell tillväxt* där elanvändningen är mycket stor kommer det bara in 1,5 GW ytterligare ny kärnkraft även om kostnaden sänks med 15 procent. Det beror på att det finns en stor realiserbar potential till relativt låg kostnad för förnybar elproduktion i detta scenario. Med en lägre realiserbar potential för landbaserad vind och högre kostnader för havsbaserad vind så skulle det ha blivit mer ny kärnkraft i detta scenario om kostnaden var 15 procent lägre för ny kärnkraft. Den effekten syns tydligt i det *beslutade policyscenariot* som presenteras i Bilaga C – Beslutad policy scenariorresultat. Sammantaget kommer intresset av ny kärnkraft att bero hur stor efterfrågan på el kommer att vara i framtiden och den relativa kostnaden för ny kärnkraft jämfört med andra elproduktionstekniker. I det sammanhanget kommer också ett eventuellt stöd för ny kärnkraft att spela stor roll för intresset att investera i ny kärnkraft. Är det så att de kostnader som Energimyndigheten antagit i de här scenarierna ligger för lågt kommer det att behövas någon form av subventioner för att ny kärnkraft ska vara en del av den framtida elproduktionsmixen.

4.3.2 Flexibilitet för att hantera en ökad andel förnybar variabel produktion

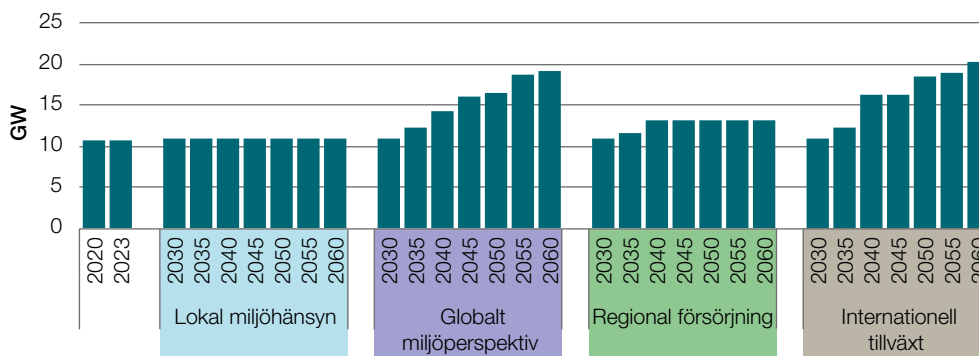
I samtliga scenarier ökar andelen variabel förnybar elproduktion från vindkraft och solkraft. Det kommer att ställa ökade krav på att energisystemet blir mer flexibelt för att hantera situationer när dessa teknologier inte producerar tillräcklig mängd el. Detta problem kan potentiellt lösas på många olika sätt (genom efterfrågefleksibilitet, smarta elnät, gasturbiner, ökad handel, m.m.). Vad som till slut kommer att bli den mest kostnadseffektiva lösningen beror på många faktorer som är svåra att förutse idag.

I Figur 23 redovisas utvecklingen av elproduktionskapacitet exklusive vind- och solkraft. I samtliga scenarier ökar den installerade kapaciteten för befintlig vattenkraft med cirka två GW. Till detta tillkommer, i vissa fall, omfattande investeringar i gasturbiner för topplastkapacitet. Kraftvärmen minskar dock kraftigt i samtliga scenarier och uppgår bara till cirka en halv GW 2050 i jämförelse med dagens nästan tre GW.



Figur 23. Elproduktionskapacitet exklusive vind- och solkraft 2020 samt 2025–2060 för de olika scenarierna, GW.

Utöver investeringar i ny elproduktionskapacitet för att hantera ansträngda situationer sker det investeringar i flexibilitet för kortsiktig, det vill säga dygnsvis, variationshantering genom olika batterialternativ eller genom vätgastankar ovan mark. Dessutom sker smart laddning för en växande andel av elbilsflottan. För mer långsiktig variationshantering sker investeringar i vätgaslager. Utöver dessa flexibilitetslösningar och en ökad planerbar produktionseffekt sker också investeringar i transmissionskapacitet mellan länderna i flera av scenarierna vilket bidrar till att utjämna variationer i tid och rum. I Figur 24 redovisas utvecklingen av transmissionskapaciteten till och från Sverige i de olika scenarierna. I scenariot *Lokal miljöhänsyn* är bara den idag planerade transmissionskapaciteten möjlig eftersom det är svårt att få tillstånd medan i scenario *Globalt miljöperspektiv* och *Internationell tillväxt* sker en fördubbling av transmissionskapaciteten. En ökad transmissionskapacitet skapar förutsättningar att bygga elproduktionskapacitet där bäst förutsättningar finns men det ger också möjlighet att på ett bättre sätt hantera bristsituationer som inte sker samtidigt i olika länder. Det innebär att den faktiska elproduktionen i de scenarierna påverkas i högre grad av förutsättningarna och utvecklingen i våra grannländer.



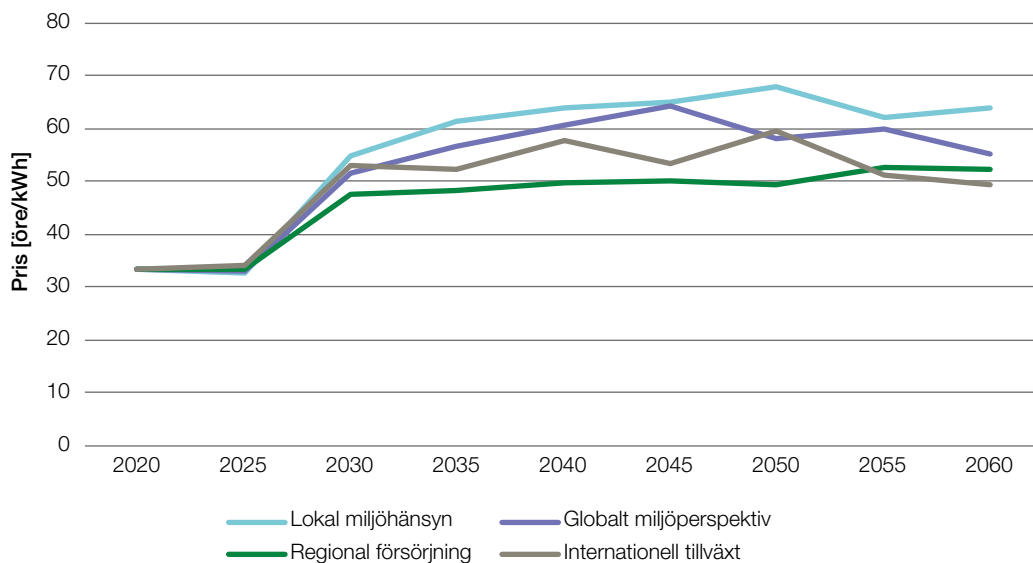
Figur 24. Transmissionskapacitet till och från Sverige 2020, 2023 samt 2025–2060 för de olika scenarierna, GW.

4.3.3 Stigande elpriser i samtliga scenarier

I samtliga scenarier stiger elpriserna (motsvarande spotpris på el) från drygt 30 öre till mellan 50–70 öre/kWh³⁷ 2050 vilket redovisas i Figur 25. I samtliga scenarier sker också en utbyggnad av elsystemet vilket innebär att elpriserna behöver bli tillräckligt höga för att täcka den långsiktiga marginalkostnaden för ny elproduktion. Högst elpriser syns i scenariot *Lokal miljöhänsyn* där visserligen efterfrågan på el är låg men det är samtidigt betydligt svårare och dyrare att bygga ny elproduktion. Lägst elpriser återfinns i *Regional försörjning* förutom i slutet av scenarioperioden då priserna i *Internationell tillväxt* är lägre. I *Internationell tillväxt* är efterfrågan på el är hög men kostnaderna för ny elproduktion är relativt låg och den totala realiserbara potentialen relativt hög. Det är också logiskt att det sker en mer omfattande omställning och elektrifiering om kostnaden för ny elproduktion är låg.

Investeringar i ny elproduktion sker först när en investerare förväntas erhålla täckning för både drift- och underhållskostnader samt kapitalkostnader. För befintlig produktion räcker det med att täcka rörliga kostnader för att producera el. För de tekniker med störst realiserbar potential, som exempelvis vindkraft, kärnkraft och solkraft, utgör också kapitalkostnaden en mycket stor andel av kostnaderna och de kortsiktiga rörliga kostnaderna en relativt liten andel. Den långsiktiga marginalkostnaden för ny elproduktion beror i sin tur på vilka antaganden som görs för såväl realiserbara potentialer för ny elproduktion samt kostnadsnivån för denna potential. Är det generellt en högre kostnadsnivå kommer elpriset, allt annat lika, att bli högre och omvänt.

³⁷ Elpriserna för 2020 är modellresultat och baseras på normalår för till exempel vattenkraft och speglar därför inte fullt ut de faktiska förhållandena för 2020, det vill säga mycket god tillgång till vindkraft, välfyllda vattenmagasin och en dämpad efterfrågan inte minst under vintern.



Figur 25. Elpriser för Sverige (motsvarande spotpriser) för respektive scenarier 2020–2060, öre/kWh, fasta priser 2021 års prisnivå.

Även om den ökade efterfrågan på el som väntas ske skulle utebli behövs ändå omfattande investeringar i ny elproduktion. Det beror på att en stor del av den befintliga elproduktionen faller för åldersstrecket. Det kräver i sin tur tillräckligt höga priser för att investeringar i att upprätthålla den befintliga kapaciteten ska bli intressanta.

5 Utvecklingen av fossilfria bränslen

Användningen av fossila bränslen är den största källan till koldioxidutsläpp i energisystemet. För att ställa om energisystemet till nettonollutsläpp krävs att nya fossilfria bränslen används eller att koldioxiden fångas in.

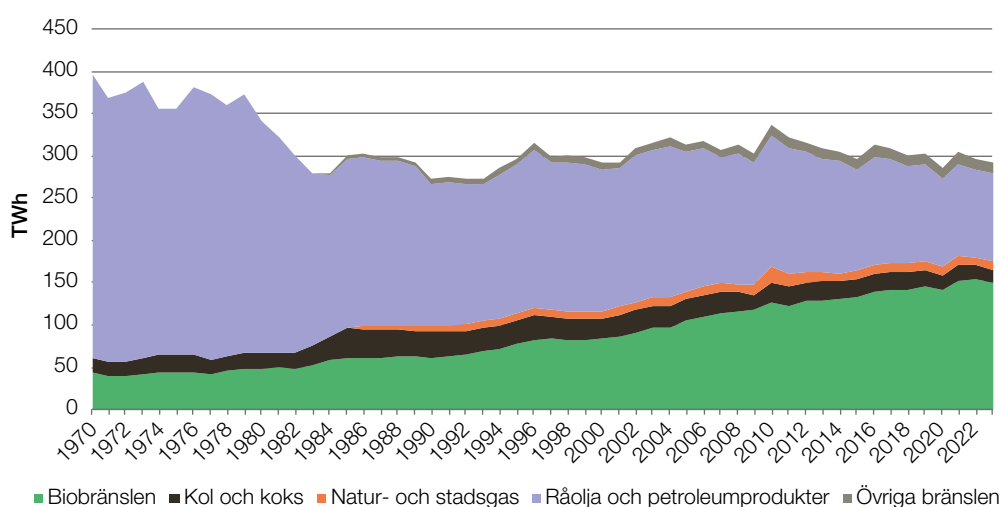
Biobränsle är idag det dominerande energislaget i Sverige. Oljekriserna under 1970-talet var starten på ett skifte från petroleumprodukter till ett ökat utnyttjande av el och biobränslen. Scenarierna pekar nu mot ännu en stundande förändring av hur biomassa, fossilfria bränslen (används fortsättningsvis för att beskriva elektrobränslen och biobränslen exklusive fasta trädbränslen), fossila bränslen samt koldioxidinfångning och lagring (CCS) kan komma att användas i Sveriges framtida energisystem.

Resultat i korthet för utvecklingen av fossilfria bränslen

- Inom alla scenarier minskar användningen av fossila bränslen samtidigt som användningen av fossilfria bränslen ökar. Förändringen drivs i huvudsak på av transportsektorns elektrifiering samt industrins egna satsningar på fossilfri produktion, inte minst inom järn- och stålindustrin som driver på användningen av vätgas.
- EU-lagstiftning driver på omställningen genom att öka kostnaden för att använda fossila bränslen, dels genom priset på utsläppsätter, dels genom att införa styrmedel som ökar användningen av fossilfria bränslen. Detta skapar en ökad inhemsk användning av och en stark exportmarknad för fossilfria bränslen.
- Produktionen av fossilfria bränslen ökar kraftigt till följd av den ökande efterfrågan och den starka exportmarknaden, med ökande produktion av elektrobränslen i de fall biomassan är begränsad.
- Koldioxidinfångning är ett konkurrenskraftigt alternativ om det saknas betalningsvilja för fossilfria produkter.
- Användningen av trädbränslen omprioriteras från att användas i huvudsak till kraftvärme, fjärrvärmeproduktion och inom industrin till att bli insatsvara i biobränsleproduktion. En ökad andel spillvärme och värmepumpar ersätter fjärrvärmeproduktionen och industrin utökar sin elanvändning.

5.1 Biobränslen utgör mer än hälften av dagens bränsleanvändning

Sverige har redan delvis gått igenom en omställning vad det gäller bränsleanvändning. I början av 1970-talet dominerades bränsletillförseln av olja och petroleumprodukter, men användningen av dessa minskade snabbt mellan 1970–1985 till följd av den tidens oljekriser. Oljan ersattes av en ökad elanvändning, ett ökat fokus på energieffektivisering och en ökad användning av biobränslen, se Figur 26. Just tillförseln av biobränslen har successivt ökat från 1970 till idag samtidigt som tillförseln av petroleumprodukter fortsätter att minska. Det var framför allt förbränning i ångpannor för värme (i hushåll, för fjärrvärme och inom skogsindustrierna) som ställde om, och i dagens energisystem är därför de fossila bränslena i huvudsak koncentrerade till transportsektorn och industrin.



Figur 26. Historisk tillförsel av bränslen i det svenska energisystemet 1970–2023, TWh.

Anm. Slutanvändningen av bränslen följer en liknande trend.

År 2023 var användningen av biobränslen större än användningen av fossila bränslen i Sverige. Totalt användes 150 TWh biobränslen 2023 där den största andelen utgjordes av fasta trädbränslen (inklusive avlutar) inom kraft- och värmesektorn samt industrin. Biodrivmedel inom transportsektorn utgjorde 20 TWh. Användningen av olja och petroleumprodukter var 106 TWh fördelat på 54 TWh inom transportsektorn och 39 TWh inom industri och raffinaderier. Utöver detta användes även 18 TWh kol och kolbaserade bränslen, främst inom industrin, samt tolv TWh övriga bränslen, huvudsakligen bestående av avfall inom kraft- och värmesektorn.

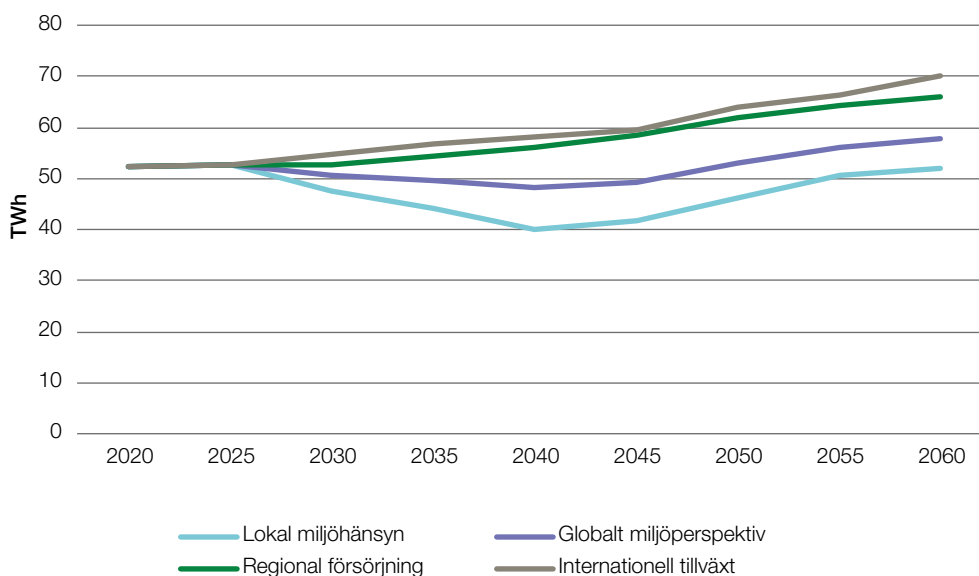
För tillförseln av bränslen syns en viss förändring i scenarierna jämfört den historiska trenden (se Figur 26), med en kraftig utfasning av fossila bränslen och en något minskande tillförsel av biobränslen (se avsnitt 3.1). De övergripande trenderna för tillförsel av bränslen ger dock en förenklad bild av vad som faktiskt pågår i energisystemet. Under ytan sker stora förändringar i samtliga scenarier med avseende på hur och vilka bränslen som används.

Ett tydligt exempel är produktionen av raffinerade petroleumprodukter. Sverige är idag en producent av petroleumprodukter och 2023 användes runt 240 TWh importerad råolja för framställning av raffinerade petroleumprodukter. Majoriteten av dessa exporteras. Samtidigt importeras petroleumprodukter vilket gör att nettotillförseln av råolja och petroleumprodukter var 106 TWh 2023. Oljeraffinaderiernas produktion påverkar inte analysen i denna rapport utöver den egenanvändning (användning som inte omfattar insatsvaror) av fossila bränslen

(uppskattat till cirka tolv TWh 2023) som raffinaderierna har och som fasas ut olika snabbt beroende på scenario. Oljeraffinaderiernas produktion av petroleumprodukter och användning av råolja som insatsvara presenteras i figurerna i det här kapitlet för att ge perspektiv på den produktion av fossilfria bränslen som sker i scenarierna.

5.2 Den inhemska råvarutillgången styrs främst av skogsbruket

Redan idag används en betydande del av den totala tillgången på biomassa som skogen kan erbjuda framför allt till trävaror, papper och massa men även för energiändamål, främst i form av restprodukter. I scenarierna är det skogsbrukets framtida utveckling som styr tillgången på trädbränslen. Utvecklingen baseras på trender från Skogsstyrelsens scenarier över skogens tillväxt³⁸. Utvecklingen av skogsbruket styr även skogsindustrins produktionsvolym vilket i sin tur styr tillgången på biprodukter från dessa industrier. Utvecklingen av skogsbruket följer olika utvecklingstakter i de olika scenarierna (se Figur 27), där den högre miljöhänsynen i *Lokal miljöhänsyn* och *Globalt miljöperspektiv* medför ett mer begränsat och delvis minskande skogsbruk, medan utvecklingen av skogsbruket i *Regional försörjning* och *Internationell tillväxt* är mer omfattande.



Figur 27. Tillgången på inhemska fasta biobränslen i de olika scenarierna 2030–2060, TWh.

Anm. Följer antaganden om skogsbrukets utveckling jämfört basåret.

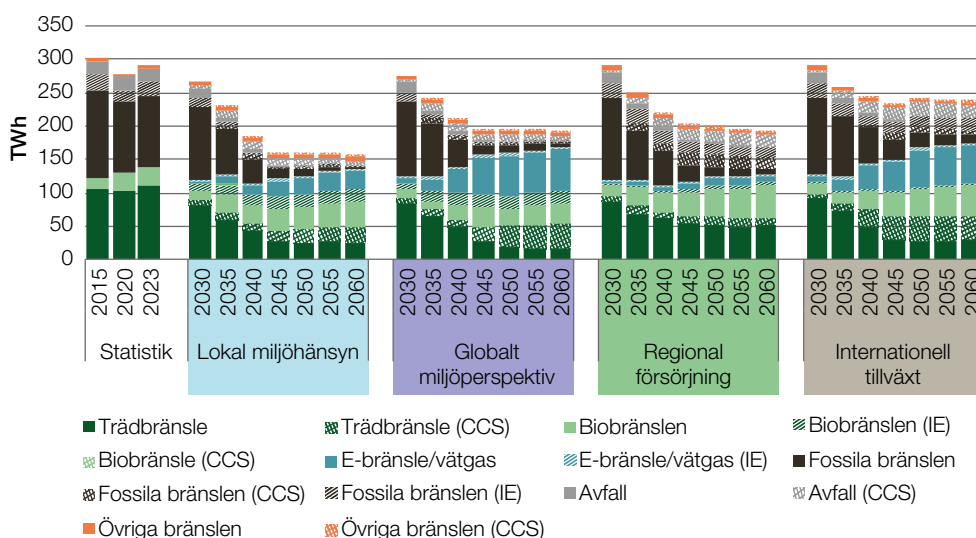
För oljor och fetter som används för produktion av biodiesel (HVO, hydrerad vegetabilisk olja) och hållbart flygbränsle (SAF, sustainable aviation fuels) tillåts dessa att importeras i modellen. Vilket ursprung råvarorna har är inte något som analyserats särskilt inom detta arbete men som i verkligheten spelar roll för om användning ska kunna anses vara hållbar eller inte. Den lägre graden av globalisering i scenarierna *Lokal miljöhänsyn* och *Regional försörjning* antas göra det svårare att importera dessa råvaror, och importen begränsas därför till cirka 25 TWh per år vilket motsvarar råvarubehovet av redan beslutad produktionskapacitet av HVO/SAF. För scenarierna *Globalt miljöperspektiv* och *Internationell tillväxt* är motsvarande siffra cirka 50–55 TWh per år, vilket är i linje med raffinaderiernas aviserade planer.

³⁸ Skogsstyrelsen (2023).

Utöver biodrivmedel tillåter modellen även att elektrobränslen tillverkas. Tillgång på koldioxid för elektrobränsleproduktion modelleras endogen i modellen, där infångad koldioxid från exempelvis kraftvärmeverk kan användas. Tillverkningen är i praktiken obegränsad så länge det finns tillgänglig produktionskapacitet av el samt en betalningsvilja för de producerade bränslena. Även lagring av koldioxid är möjlig som alternativ för att minska utsläppen från fossila bränslen. Tillgången på lagringskapacitet har inte analyserats närmre och utgör en möjlig begränsande faktor för de presenterade resultaten.

5.3 En ökad efterfrågan och produktion av fossilfria bränslen

I samtliga scenarier syns en trend mot minskad användning av fossila bränslen och en ökande andel fossilfria bränslen i energisystemet (se Figur 28). Trenden drivs av förändringar inom transportsektorn och industrin – de två sektorerna med störst användning av fossila bränslen i dagsläget. De huvudsakliga drivkrafterna kommer från EU-lagstiftning, framför allt EU ETS, ETS 2³⁹, ReFuelEU Aviation⁴⁰, FuelEU Maritime⁴¹, och omarbetningen av EU:s utsläppskrav på lätta fordon⁴², som leder till egeninitierade satsningar på fossilfri produktion. EU ETS och ETS 2 ökar kostnaden att använda fossila bränslen medan övrig lagstiftning minskar användningen av fossila bränslen.



Figur 28. Användning av bränslen i Sverige 2015, 2020, 2023 samt i de olika scenarierna 2030–2060, TWh.

Anm. Figuren är exklusive energivaror som används som råvara till bränsleframställning och kärnbränslen. IE indikerar bränslen som används för icke energiändamål, CCS indikerar att bränslen används i anläggningar med koldioxidinfångning.

³⁹ EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS DIREKTIV 2003/87/EG av den 13 oktober 2003 om ett system för handel med utsläppsrätter för växthusgaser inom unionen och om ändring av rådets direktiv 96/61/EG.

⁴⁰ EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS FÖRORDNING (EU) 2023/2405 av den 18 oktober 2023 om säkerställande av lika villkor för hållbar lufttransport (ReFuelEU Aviation).

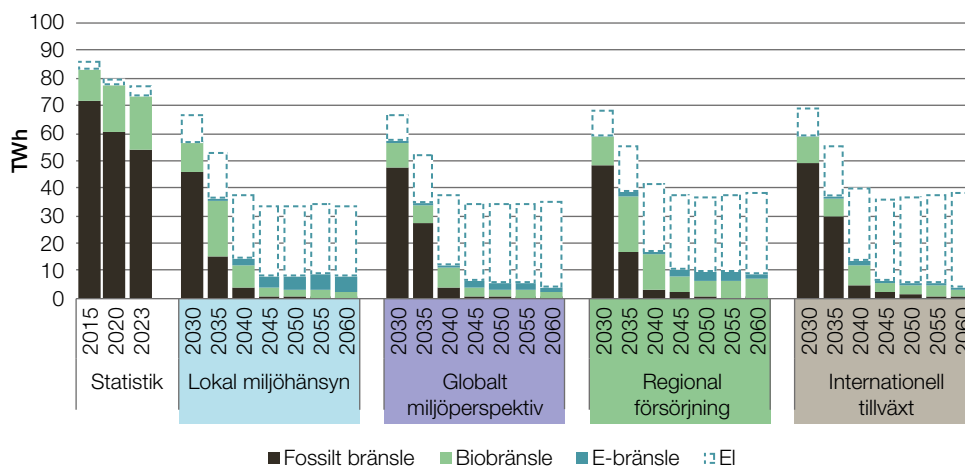
⁴¹ EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS FÖRORDNING (EU) 2023/1805 av den 13 september 2023 om användning av förnybara och koldioxidsnåla bränslen för sjötransport och om ändring av direktiv 2009/16/EG (FuelEU Maritime).

⁴² EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS FÖRORDNING (EU) 2019/631 av den 17 april 2019 om fastställande av normer för koldioxidutsläpp för nya personbilar och för nya lätta nyttofordon och om upphävande av förordningarna (EG) nr 443/2009 och (EU) nr 510/2011 (omarbeting).

De, i förhållande till industrin och transportsektorn, små mängder fossila bränslen som används inom bostäder och service samt inom kraft- och värmeproduktion fasas snabbt ut i samtliga scenarier, med undantag för den fossila andelen avfall som förbränns i kraftvärme och fjärrvärmeanläggningar. Den ökande användningen av fossilfria bränslen inkluderar både förädlade biobränslen och elektrobränslen. Förädlade biobränslen är högt eftertraktade i samtliga scenarier medan användningen av elektrobränslen främst ökar när biomassaresurserna är begränsade och när industrin antas efterfråga vätgas. Dessutom ökar användandet av koldioxidinfångning i scenarierna vilket bidrar till att minska utsläppen. Den avskilda koldioxiden utnyttjas både för lagring och som råvara i elektrobränsleproduktion.

5.3.1 Transportsektorn elektrifieras och fossila bränslen fasas ut

Den största förklaringen till den minskande användningen av fossila bränslen är elektrifieringen av vägtransporter. Elektrifieringen av fordonsflottan är ett robust resultat i scenarierna och elfordon är ett konkurrenskraftigt alternativ i alla scenarier och begränsas i huvudsak av antaganden om hur snabbt fordonsflottan kan omsättas. Transportsektorns elektrifiering leder till ett minskat bränslebehov, vilket dels leder till att fossila bränslen minskar, dels innebär att mängden biodrivmedel som krävs för att ersätta fossila drivmedel för vägtransporter minskar (se Figur 29). En tydlig konsekvens av detta är att användandet av fossilfria bränslen över tid fokuseras mer och mer till de användningsområden inom transportsektorn som har svårare att elektrifiera, såsom vissa tunga transporter, flyg och sjöfart.



Figur 29. Bränsleanvändning inom transportsektorn 2015, 2020, 2023 samt i de olika scenarierna 2030–2060, TWh.

Anm. Elanvändningen är inkluderad som referens.

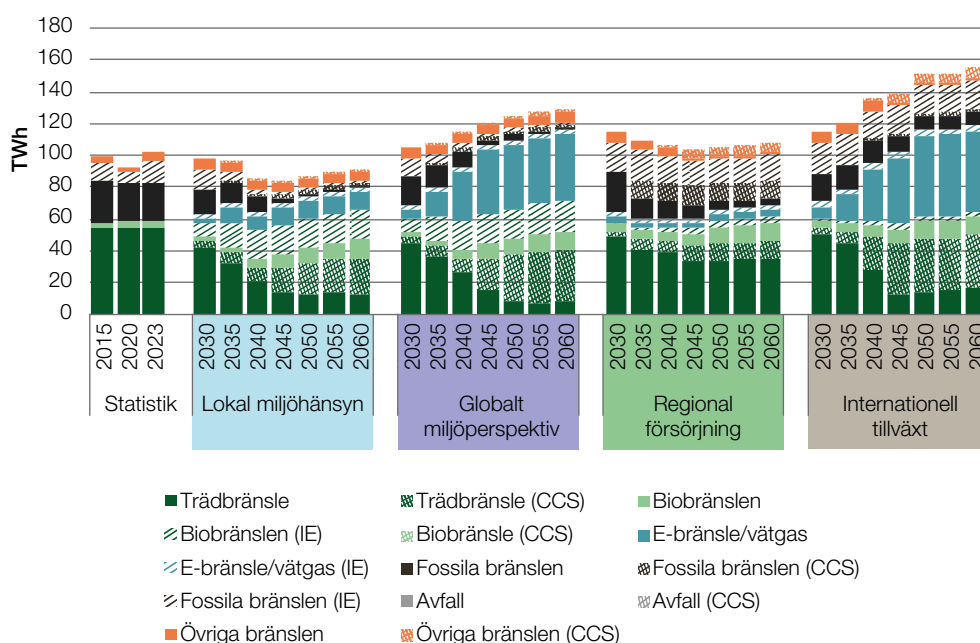
Trenden mot ökad elektrifiering och minskad bränsleanvändning inom transportsektorn är tydlig i samtliga scenarier. Endast mindre skillnader i den totala bränsleanvändningen till följd av antaganden kring transportarbete och elektrifieringstakt kan urskiljas. Som störst är skillnaden i total bränsleanvändning för ett givet nedslagsår runt 4–5 TWh för åren 2030–2060 om scenarierna jämförs med varandra. Generellt går utfasningen av fossila drivmedel snabbare i *Lokal miljöhänsyn* och *Globalt miljöperspektiv* där priset på utsläppsätter är högre, och något långsammare i *Regional försörjning* och *Internationell tillväxt* där priset är lägre.

Den svenska energiskatten, ETS 2, samt de omarbetade EU-kraven för lätta fordon, som i praktiken innebär att inga nyttillverkade lätta fordon med koldioxidutsläpp får säljas inom EU från 2035 får också stor påverkan på användningen av drivmedel under perioden 2030–2040.

I takt med att utsläppsriktpriserna från ETS 2-priserna ökar blir biodrivmedel konkurrenskraftiga, till och med marginellt billigare än fossila drivmedel, så länge de undantas från energiskatt. I *Globalt miljöperspektiv* och *Internationell tillväxt*, där biodrivmedel beskattas på samma sätt som fossila bränslen blir användningen av biodrivmedel sex TWh 2035 vilket är betydligt lägre än de 20 TWh biodrivmedel som används 2035 i *Lokal miljöhänsyn* och *Regional försörjning* där biodrivmedel är undantagna energiskatt.

5.3.2 Industrin byter bränslen eller fångar in koldioxid

Även inom industrin minskar användningen av fossila bränslen i scenarierna och ersätts av fossilfria alternativ, dock i varierande grad och takt (Figur 30). Graden och takten på minskningen är i regel starkt kopplad till ökningen av priset på utsläppsätter inom EU ETS och sker i samtliga sektorer där möjligheten att använda CCS är begränsad. Sammantaget sker därför en snabbare och kraftigare minskning av fossila bränslen i *Lokal miljöhänsyn* och *Globalt miljöperspektiv*. I *Regional försörjning* och *Internationell tillväxt* minskar användningen av fossila bränslen långsammare och inte lika kraftigt eftersom priset på utsläppsätter är lägre samt till följd av att antaganden för fortsatt användning av fossila bränslen är mer tillåtande, framför allt inom stålindustrin och kemiindustrin.



Figur 30. Industrins slutanvändning av bränslen och användning för icke energiändamål 2015, 2020, 2023 och i respektive scenario 2030–2060, TWh.

Samtidigt som fossila bränslen minskar, minskar även industrins trädbränsleanvändning i samtliga scenarier. Minskningen sker dels till följd av en antagen effektivisering inom skogsindustrin, med aggressivare effektiviseringsantaganden i *Lokal miljöhänsyn* och *Globalt miljöperspektiv*, dels av att trädbränslen ersätts med el. Användningen av trädbränslen minskar ytterligare i *Lokal miljöhänsyn* och *Globalt miljöperspektiv* på grund av minskat skogsbruk vilket begränsar skogsindustrins produktion. Minskningen av trädbränsleanvändningen har ingen direkt påverkan på industrins användning av fossila bränslen, men får földeffekter på produktionen av fossilfria förädlade bränslen (se avsnitt 5.3.5) vilket indirekt kan påverka industrins användning av fossila bränslen.

Utvecklingen av industrins användning av fossila bränslen och fossilfria bränslen är starkt kopplad till ingående scenarioantaganden inom järn- och stålindustrin och kemiindustrin.

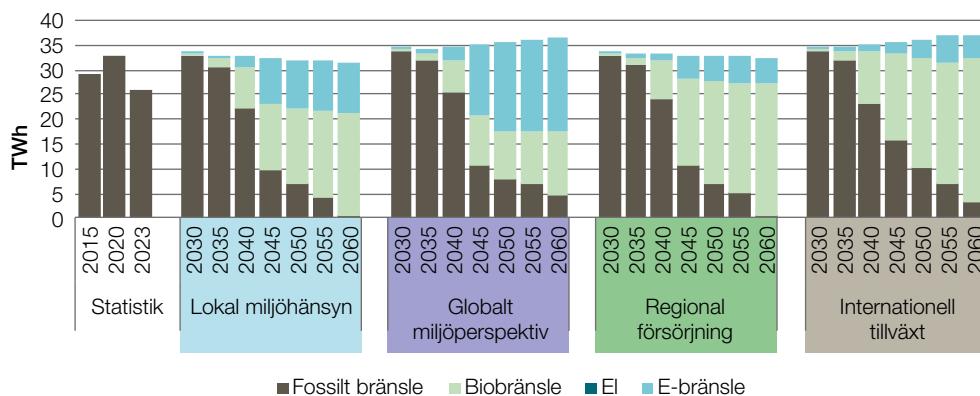
I samtliga scenarier förutom *Regional försörjning* antas nuvarande kol- och koksbase stålproduktion i masugn ställa om till vätgasbaserad produktion av järnsvamp efter 2030. I *Globalt miljöperspektiv* och *Internationell tillväxt* antas dessutom den högre globaliseringen ge ökade produktionsvolymerna av järnsvamp, mest i *Internationell tillväxt*, vilket driver på vätgasanvändningen. I *Regional försörjning* antas valet av tillverkningsmetod för befintlig masugnsbaserad stålproduktion vara fritt, vilket leder till en fortsatt användning av kol och koks i masugnar försedda med CCS-teknik efter 2030 och förklarar varför användningen av fossila bränslen är högst i *Regional försörjning*.

Användningen av fossila och fossilfria bränslen för icke energiändamål styrs av antaganden inom kemiindustrin. I *Lokal miljöhänsyn* och *Globalt miljöperspektiv* antas en minskande andel fossila bränslen för icke energiändamål som ersätts av fossilfria bränslen. I *Regional försörjning* och *Internationell tillväxt* styr marknadspriserna valet av bränsle, vilket leder till en hög andel fossila bränslen används för icke energiändamål. Användandet av fossila bränslen för icke energiändamål leder också till en ökad användning av CCS i kemiindustrin, då den fossila andelen av de restprodukter som förbränns (kategoriserad som övriga bränslen) är proportionell mot andelen fossil råvara.

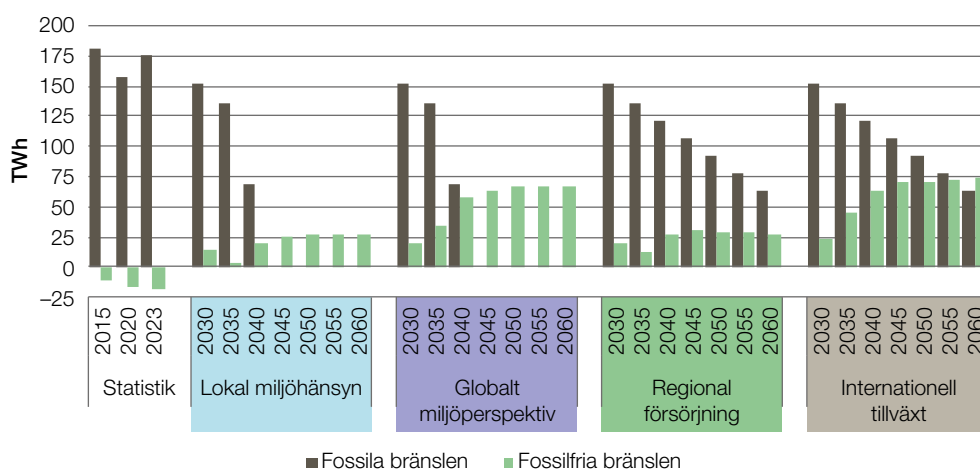
Resultaten för stålindustrin och kemiindustrin pekar på att CCS generellt används om möjligheten finns vilket leder till en fortsatt användning av fossila bränslen. För branscher där få alternativ till utsläppsminskning finns, såsom för cementindustrin, oljeraffinaderier och avfallsförbränning, används alltid CCS för att minimera kostnaden av att släppa ut fossil koldioxid när utsläppsrättspriset är tillräckligt högt. Följaktligen styrs införandet av CCS av priset på utsläppsrätter, där de högre priserna i *Lokal miljöhänsyn* och *Globalt miljöperspektiv* innebär att CCS används tidigare än i *Regional försörjning* och *Internationell tillväxt*. Den kostnadseffektivitet som CCS-lösningarna indikerar i scenarierna visar på att det generellt krävs en betalningsvilja för fossilfria material hos kunder för att fossila bränslen ska ersättas inom industrin.

5.3.3 Utrikes transporter och exportmarknader ökar konkurrensen om fossilfria bränslen

Utöver den inhemska användningen sker både en betydande export samt en ökande användning av fossilfria bränslen inom utrikes transporter. Den ökande användningen inom utrikes transporter drivs av ReFuelEU Aviation och FuelEU Maritime som syftar till att minska klimatpåverkan från luftfart respektive sjöfart. För Sverige innebär denna lagstiftning att mängden fossilfria bränslen som används för utrikes flyg och sjöfart ökar från nästan noll TWh 2030 till 25–30 TWh 2050 (se Figur 31). Exporten av fossilfria bränslen, som uppgår till 25–70 TWh beroende på förutsättningarna för att använda bioråvara i scenarierna (se Figur 32), är ett resultat av att modellen ser det som lönsamt att producera och exportera fossilfria bränslen. Detta medför en ökad konkurrens och högre kostnader för att använda dessa bränslen inhemskt.



Figur 31. Användning av fossila och fossilfria bränslen för utrikes sjöfart och luftfart 2015, 2020, 2023 samt i scenarierna 2030–2060, TWh.



Figur 32. Export av fossila och fossilfria bränslen 2015, 2020, 2023 samt i respektive scenario 2030–2060, TWh.

Finns det en exportmarknad för fossilfria bränslen?

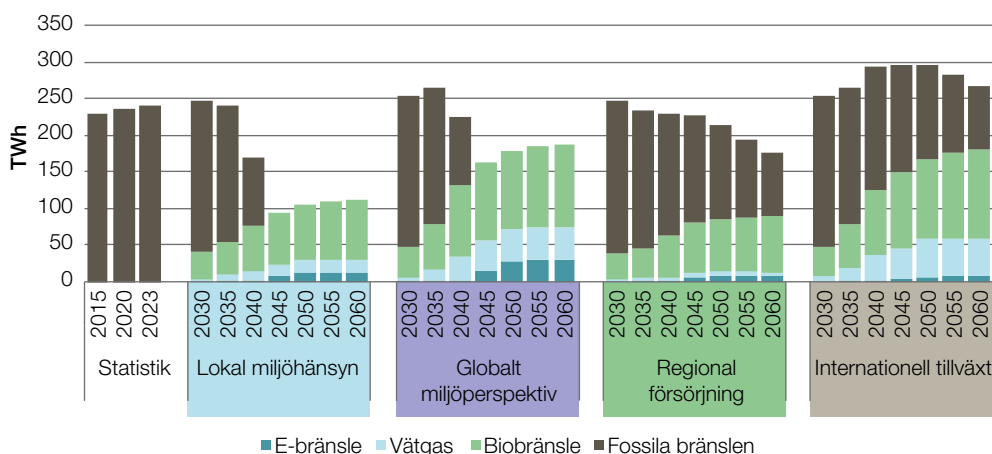
Den efterfråga på fossilfria bränslen som driver mycket av resultaten i scenarierna drivs i sin tur på av EU-lagstiftning. Inom Sverige drivs övergången från fossila bränslen till fossilfria bränslen och el på utsläppsrättspriset som sätts av EU ETS och ETS 2, inte minst för sektorer som saknar rimliga alternativ till elektrifiering eller koldioxidinfångning och lagring.

För utrikes transporter är det ReFuelEU Aviation⁴³ och FuelEU Maritime⁴⁴ som driver på användningen av fossilfria bränslen. Om nuvarande användning av flygbränslen och sjöfartsbränslen bibehålls kommer ReFuelEU Aviation och FuelEU Maritime uppskattningsvis skapa en efterfråga på runt 700 TWh fossilfria bränslen 2050 för flyg och sjöfart. Därtill kommer även vägtrafikens betalningsvilja för fossilfria bränslen inom EU att öka i takt med att utsläppsrättspriset inom ETS 2 ökar, inte minst för tunga transporter. Utöver drivmedel för transportsektorn tillkommer industrins behov av bränslen, och inte minst ett potentiellt behov av kolatomer från förnybara källor för produktion av plast och kemikalier. Sammanlagt finns alltså en potentiell marknad inom EU som behöver stora mängder fossilfria bränslen.

Den potentiella efterfrågan på fossilfria bränslen inom EU ger ett viktigt perspektiv till scenarieresultaten, där vi ser en hög export av fossilfria bränslen. Biomassa är en begränsad resurs som ytterligare begränsas av hållbarhetskrav, vilket driver på råvarupriser. Samtidigt är koldioxidinfångning från luft för framställning av elektrobränslen dyrt. Med ett fortsatt fokus på minskade utsläpp av växthusgaser är det därmed troligt att betalningsviljan för fossilfria bränslen kommer vara hög framöver.

5.3.4 Inhemsk produktion av fossilfria bränslen ökar

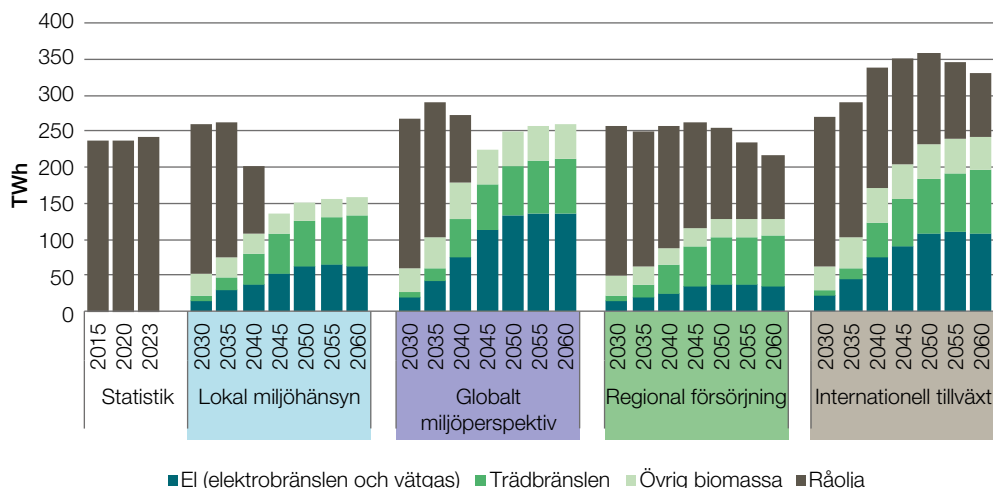
Den växande marknaden för fossilfria bränslen, både inom Sverige och för export, gör att produktion av förädlade biobränslen generellt är den mest kostnadseffektiva användningen av biomassa i samtliga scenarier. Den höga betalningsviljan som dels drivs på av EU ETS, dels annan EU-lagstiftning som främjar användandet av fossilfria bränslen (se avsnitt 5.3.3), driver upp kostnaden för biomassaråvaran i scenarierna. Produktionen av fossilfria bränslen ökar också i samtliga scenarier vilket är en direkt respons på den ökande betalningsviljan (se Figur 33). Bulkproduktionen kommer från biooljor/fett, trädbränslen samt el som huvudsakliga insatsråvaror (se Figur 34).



Figur 33. Producerade fossila raffinerade bränslen samt fossilfria bränslen i TWh 2015, 2020, 2023 samt i respektive scenario 2030–2060.

⁴³ EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS FÖRORDNING (EU) 2023/2405 av den 18 oktober 2023 om säkerställande av lika villkor för hållbar lufttransport (ReFuelEU Aviation).

⁴⁴ EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS FÖRORDNING (EU) 2023/1805 av den 13 september 2023 om användning av förnybara och koldioxidsnåla bränslen för sjötransport och om ändring av direktiv 2009/16/EG (FuelEU Maritime).



Figur 34. Insatsvara för produktion av raffinerade petroleumprodukter (råolja) samt för fossilfria bränslen 2015, 2020, 2023 samt för respektive scenario 2030–2060, TWh.

Anm. Övrig biomassa består i huvudsak av råvaror som används till HVO-produktion.

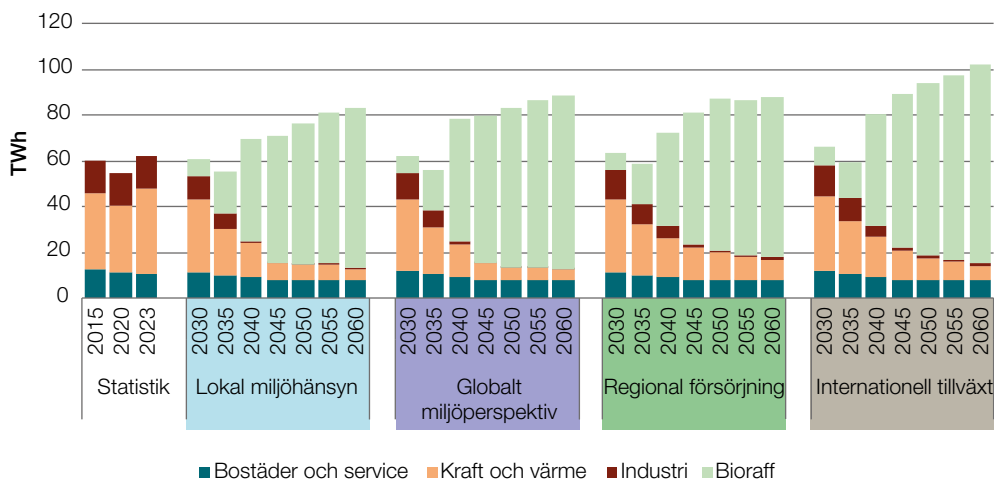
Trenderna i produktionen av fossilfria bränslen visar också tydligt på hur tillgången på biomassa och efterfrågan på fossilfria bränslen påverkar efterfrågan av elektrobränslen. I *Lokal miljöhänsyn* är biomassatillgången lägst samtidigt som förutsättningarna i scenariot, med höga utsläppsrättspriser och krav på fossilfria råvaror i kemiindustrin, medför att efterfrågan på fossilfria bränslen är hög. Även i *Globalt miljöperspektiv* är biomassatillgången låg med hög betalningsvilja på fossilfria bränslen. I båda dessa scenarier är produktionen av elektrobränslen högre än i scenarierna *Regional försörjning* och *Internationell tillväxt*, där tillgången på biomassa är hög (relativt de andra scenarierna) och betalningsviljan för fossilfria bränslen lägre. Trots detta produceras elektrobränslen även i dessa scenarier. Denna produktion beror på att ReFuelEU Aviation, kräver att en viss andel av bränslena som används inom flyget måste vara elektrobränslen. Utan denna typ av styrmedel och med god tillgång på biomassa verkar elektrobränslen få det tufft att konkurrera utifrån de kostnadsantaganden som gjorts i scenarierna.

Vätgasproduktionen, som i det här sammanhanget inte omfattar produktionen av vätgas för vidareförädling till elektrobränslen, styrs av antaganden för järn- och stålindustrin (se avsnitt 5.3.2) och påverkas därför inte av biomassatillgången.

5.3.5 Omprioritering av trädbränsleanvändningen

Kostnadsökningen på trädbränslen, som används i stor utsträckning inom kraftvärme- produktion, fjärrvärmeproduktion och industrin, medför stora förändringar i energisystemet i samtliga scenarier. Den ökade kostnaden för trädbränslen gör att användningen av trädbränslen minskar över tid i industrin och i kraft- och värmeproduktionen och skiftar successivt över till att användas för framställning av förädlade biobränslen (se Figur 35). För fjärrvärme- produktionen ersätts trädbränslena till stor del av spillvärme och värmepumpar (läs mer i avsnitt 6.3.2), där spillvärmen till stor del kommer från produktion av förädlade biobränslen. Inom industrin ersätts användningen av trädbränslen främst av en ökad användning av el. För kraftvärmen minskar elproduktionen och ersätts av annan elproduktion. Dessutom bidrar effektiviseringsåtgärder inom bostadssektorn och skogsindustrierna till att mer trädbränslen kan frigöras för andra ändamål, vilket underlättar användandet av trädbränslen som insatsvara för ökad produktion av förädlade biobränslen.

Utfasningen av trädbränslen för kraftvärmeproduktion och inom industrin är påtaglig i samtliga scenarier men blir än mer påtaglig i *Lokal miljöhänsyn* och *Globalt miljöperspektiv*. I dessa scenarier är tillgången på trädbränslen mer begränsad vilket leder till en aggressivare kostnadsökning vilket skyndar på omställningen.



Figur 35. Användning av trädbränslen inom Sverige 2015, 2020, 2023 samt i respektive scenario 2030–2060, TWh.

Perspektiv på volymerna av fossilfria bränslen från trädråvara

Storskalig produktion av biodiesel och flygbränslen från oljor och fetter har vi redan idag. Stora volymer fossilfria bränslen som produceras från trädbränslen är inte lika vanligt och ett nytt inslag i scenarierna.

Redan idag finns tekniker för produktion av förädlade bränslen från trädbränslen som är kommersialiserade eller nära kommersialisering^{45,46}. Samtidigt finns stor utvecklingspotential då biobränsleframställning från trädbränslen har en generellt låg koleffektivitet – en låg andel av det ingående kolet hamnar i det producerade bränslet. Det är främst kolatomerna från biomassan som är värdefulla, vilket har lett till att aviserade satsningar och olika forskningsprojekt mer och mer börjar rikta in sig på bioelektrobränslen, d.v.s. biobränsleproduktion som använder sig av olika elektrifieringsalternativ, såsom vätgas från elektrolys, för att öka koleffektiviteten.

De modellerade resultaten pekar på att betalningsviljan för fossilfria bränslen är hög, och att det är tekniskt möjligt att genomföra. Hastigheten i produktionsökningen är hög i de modellerade scenarierna och för att volymerna ska realiseras krävs en koordinerad vilja att få till en sådan omställning hos samtliga involverade aktörer.

I och med att en stor del av spillvärmen som används till fjärrvärme kommer från biobränsleproduktion skulle en tänkbar utveckling framåt exempelvis kunna vara att stora kraftvärmeverk, som redan har tillgång till trädbränslet, ställer om till biobränsleproduktion där spillvärmen används inom existerande fjärrvärmenät. På så sätt kan vi behålla en produktion av fjärrvärme som kommer från biomassa även om det huvudsakliga ekonomiska syftet för användandet av biomassan har skiftat till bränsleproduktion.

⁴⁵ Furusjö, E., m. fl. (2022).

⁴⁶ Energiforsk (2020).

6 Utvecklingen för uppvärmning av bostäder och lokaler

Den svenska marknaden för uppvärmning av bostäder och lokaler, uppvärmningsmarknaden, är en integrerad del av energisystemet. I detta kapitel ges de övergripande scenarioresultaten med fokus på uppvärmningsmarknaden.

Genom uppvärmningsmarknaden möts efterfrågan på komfortvärme och beredning av tappvarmvatten i byggnadsbeståndet med hjälp av olika energibärare eller tekniker, exempelvis fjärrvärme, el och biobränslen i form av pellets och ved.

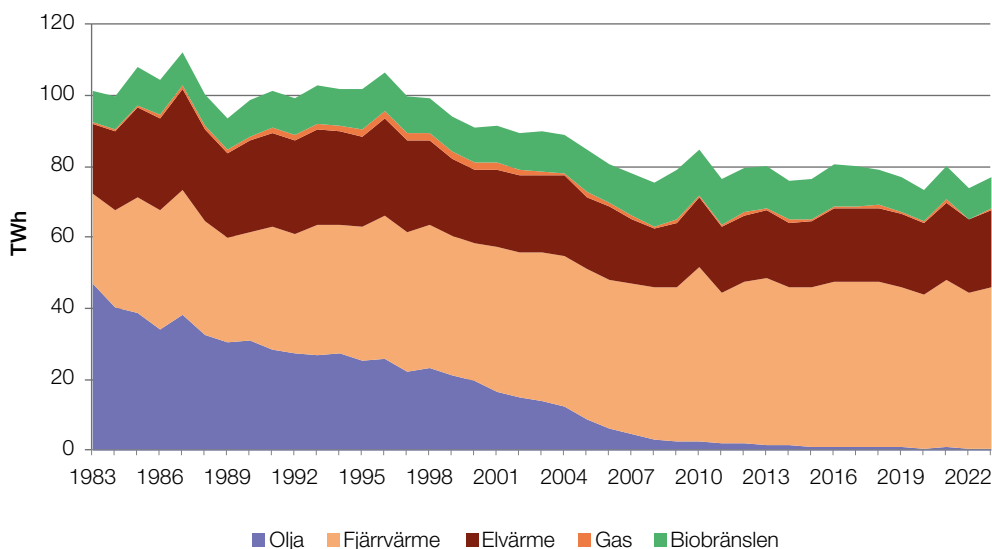
Resultat i korthet för utvecklingen av uppvärmning av bostäder och lokaler

Scenarioresultaten pekar på att stora förändringar sker på uppvärmningsmarknaden. Nedan sammanfattas i punktform de huvudsakliga förändringarna:

- Över lag minskar behovet av värme. Det sker dels på grund av policygrundade effektiviseringsåtgärder i byggnadsbeståndet, dels på grund av ett varmare klimat.
- I samtliga scenarier minskar fjärrvärmeleveranserna, men i olika grad. Fjärrvärmen som uppvärmningsalternativ påverkas över lag av konkurrensen från individuella värmepumpar, vars användning ökar i alla scenarier.
- Fjärrvärmens bränslesammansättning genomgår stora förändringar i samtliga scenarier. En genomgripande förändring är minskad användning av biobränslen, vilket sker till följd av ökad efterfrågan och betalningsförmåga för denna resurs från andra sektorer och omställningsändamål.
- Ökad konkurrens om biobränslen bidrar till att allt mindre av fjärrvärmeproduktionen sker genom förbränning. I stället sker ett skifte mot mer fjärrvärmeproduktion utan förbränning, genom användning av stora värmepumpar och tillvaratagande av spillvärme. I två av scenarierna sker också en del av fjärrvärmeproduktionen med hjälp av kärnkraft.

6.1 Fjärrvärme en viktig del av dagens värmeförsörjning

Figur 36 ger en samlad bild av olika energibärare eller tekniker som används idag i det svenska byggnadsbeståndet för uppvärmning av bostäder och lokaler. Denna uppvärmning inkluderar även beredning av tappvarmvatten, medan industrins användning exkluderas. Med energibärare avses fjärrvärme, elvärme och värme från små pannor eldade med fasta, flytande eller gasformiga bränslen. Bostäder omfattar småhus och flerbostadshus, och lokaler inkluderar kommersiella och offentliga byggnader. Totalt uppgick bostäder och lokalers energianvändning för uppvärmning 2023 till 77 TWh, som visas i Figur 36. De energibärare som dominerade denna marknad 2023 är i storleksordning: fjärrvärme (46 TWh), elvärme (21 TWh) och värme från biobränsleeldade pannor (nio TWh). Värme från pannor som eldas med gas och olja (totalt mindre än en TWh) spelar en jämförelsevis liten roll på dagens marknad för uppvärmning av bostäder och lokaler.

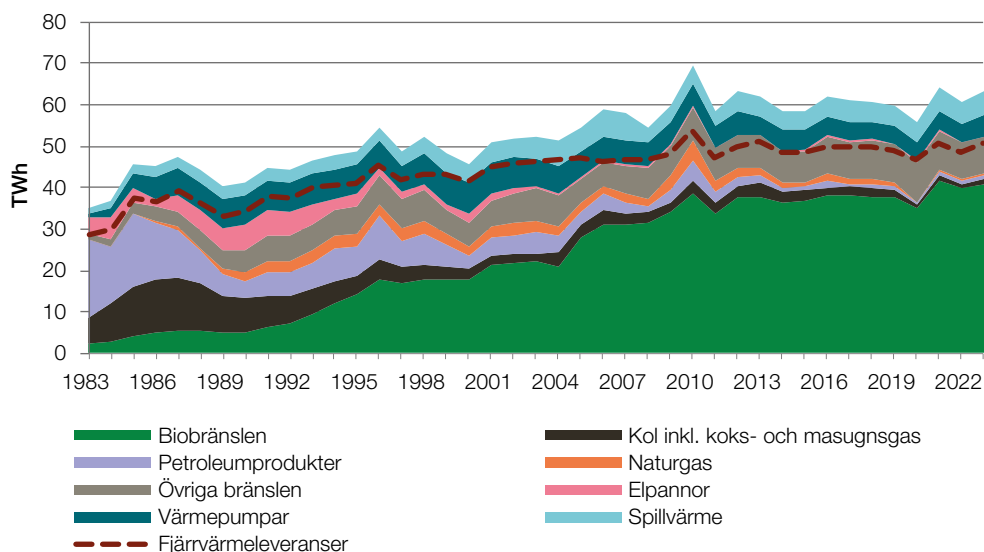


Figur 36. Energianvändning per energibärare för uppvärmning och beredning av tappvarmvatten till bostäder och lokaler 1983–2023, TWh.

Källa: Energiläget i siffror 2025.

Fjärrvärme ökade de senaste decennierna (1983–2023) sin marknadsandel från 25 till 60 procent, vilket illustreras i Figur 36, och utnyttjas idag till största delen för uppvärmning av flerbostadshus och lokaler. Resterande marknadsandelar 2023 var runt 28 procent för elvärme och tolv procent för olika bränslen eldade i små pannor. Av totala fjärrvärmeleveranser 2023 användes 55 procent i flerbostadshus och 34 procent i lokaler. Fjärrvärme stod för runt 90 procent av flerbostadshusens och runt 80 procent av lokalers behov för uppvärmning. Elvärme å andra sidan var med 52 procent marknadsandel 2023 den dominerande uppvärmningsformen i småhus, följt av biobränsleeldade pannor med 28 procent. Elvärme domineras idag av individuella värmepumpar, men inkluderar även direktverkande el och vattenburen elvärme, och biobränsle som eldas i små pannor används oftast i form av träpellets och ved.

Produktionen av fjärrvärme sker främst i biobränsle- och avfallseldade kraftvärmeanläggningar och värmeverk (hetvattenpannor). Biobränslen inkluderar både fasta oförädlade bränslen (exempelvis stamvedsflis och bark) och förädlade bränslen (exempelvis träpellets och bioolja) samt biogent (organisk) avfall, och stod för runt 41 TWh av tillförd energi för fjärrvärmeproduktion 2023. Se Figur 37. Stora värmepumpar, elpannor och spillvärme från industrier är andra tekniker eller värmekällor som i jämförelse stod för sammanlagt elva TWh. Bränslesortimentet i fjärrvärmeproduktionen inkluderar även övriga bränslen (drygt åtta TWh) med bland annat fossilt avfall och torv samt en relative liten andel av fossila bränslen i form av kol, petroleumprodukter och naturgas (närmare tre TWh).



Figur 37. Tillförd energi för fjärrvärmeproduktion 1983–2023, TWh.

Källa: Energiläget i siffror 2025.

6.2 Byggtakt och effektiviseringsfokus styr värmebehovet

I samtliga scenarier minskar värmebehovet i befintlig bebyggelse på grund av energieffektiviseringsåtgärder och varmare klimat. Minskningen som beror på varmare klimat antas vara är densamma i alla scenarier. Däremot varierar värmebehovet i nybyggnation beroende på byggtakten med utgångspunkt i Boverkets prognoser över byggande och byggbehov. Utvecklingen antas följa Boverkets prognos fram till 2030 och sedan gör Energimyndigheten egna bedömningar med ett antagande att personer/hushåll är relativt konstant efter 2030.

I *Globalt miljöperspektiv* och *Internationell tillväxt* antas en högre byggtakt jämfört med de övriga två scenarierna eftersom globalisering medför starkare ekonomisk tillväxt. Det är en högre grad av globalisering och frihandel i scenario *Internationell tillväxt* jämfört med scenario *Globalt miljöperspektiv* vilket leder till högre ekonomisk tillväxt och att fler bostäder byggs i det scenariot.

I motsats till scenario *Globalt miljöperspektiv* och *Internationell tillväxt* antas det en lägre byggtakt i scenario *Lokal miljöhänsyn* och *Regional försörjning*. Scenario *Lokal miljöhänsyn* och *Regional försörjning* motsvarar en värld präglad av fler globala och nationella politiska lösningar. Det leder till minskade möjligheter till internationellt samarbete och en krympande handel vilket också medför lägre ekonomisk tillväxt och mindre byggande. I scenario *Lokal miljöhänsyn* där större hänsyn till miljö tas byggs det minst medan miljöhänsyn oftare får stå tillbaka i scenario *Regional försörjning* och därför byggs där fler bostäder jämfört med scenario *Lokal miljöhänsyn*.

I scenarierna varierar förutsättningarna för den ekonomiska potentialen för energieffektivisering. I scenario *Regional försörjning* och scenario *Internationell tillväxt* sker det inga tvingade (exogena) antaganden kring effektiviseringar utan kostnadseffektiviteten avgör om det är lönsamt att energieffektivisera. I scenarierna *Lokal miljöhänsyn* och *Globalt miljöperspektiv* premieras effektivisering och effektiviseringsåtgärder antas bli av oavsett kostnad. De exogena antagandena har antagits för att följa kraven EU-direktivet om byggnaders energiprestanda (EPBD)⁴⁷. Exempel på energieffektiviseringsåtgärder som finns i modellen är fönsterbyte och tilläggsisolering.

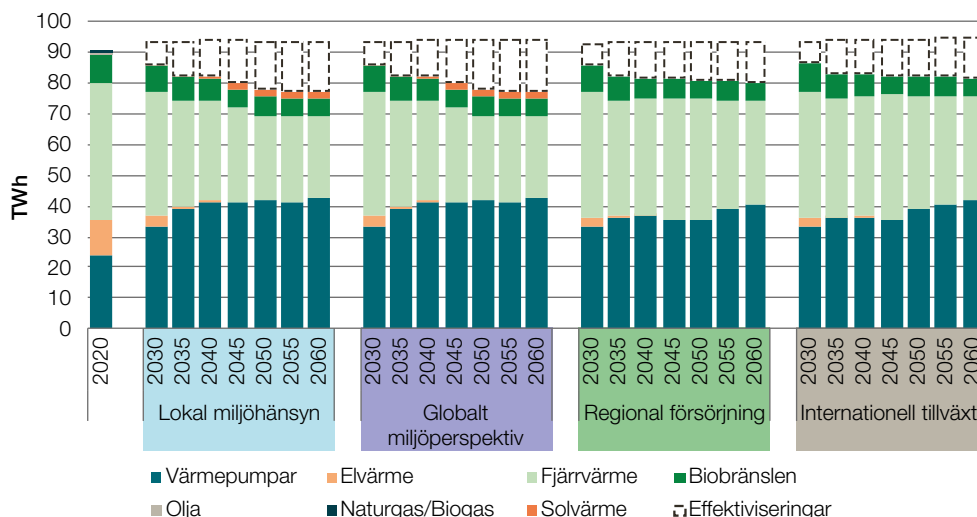
6.3 En uppvärmningsmarknad i förändring

Modellresultaten visar på en uppvärmningsmarknad i förändring, med minskad energianvändning för uppvärmningsändamål, minde fjärrvärme i förhållande till värmepumpar samt även förändringar i hur fjärrvärmen produceras. I de avsnitt som följer beskrivs resultaten närmare.

6.3.1 Energianvändning för uppvärmning och tappvarmvatten minskar

Energianvändningen för uppvärmning och varmvatten minskar generellt i alla scenarier efter år 2025 för att sedan ligga på en stabil nivå fram till 2050, se Figur 38. Det är främst energieffektiviseringar som bidrar till att uppvärmningsbehovet i bostäder minskar, men även klimatförändringen antas ge ett lägre uppvärmningsbehov. I scenario *Lokal miljöhänsyn* och *Globalt miljöperspektiv* tvingas värmeeffektiviseringar in enligt kraven från EPBD oavsett kostnad, vilket leder till något högre effektiviseringsgrad. I *Regional försörjning* och *Internationell tillväxt* sker värmeeffektiviseringar som ett resultat av deras konkurrenskraft gentemot de olika uppvärmningsalternativen. De energieffektiviseringsområden som bidrar till lägre energibehov inkluderar fönsterbyten, bättre isolering, effektivare utnyttjande av ventilation och vatten samt förbättrade styr/reglersystem.

⁴⁷ EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS DIREKTIV (EU) 2024/1275 av den 24 april 2024 om byggnaders energiprestanda (omarbetning).



Figur 38. Nyttig energi för uppvärmning och tappvatten 2020 samt för respektive scenario 2030–2060, TWh.

Anm: År 2020 är ett modellresultat baserat på 2020 års statistik.

En generell trend som går att se i samtliga scenarier är att fjärrvärmeanvändningen minskar till förmån för effektiviseringar och värmepumpar. Detta beror framför allt på att biobränslepriserna blir högre i alla scenarier och försämrar fjärrvärmens konkurrenskraft, främst jämfört med värmepumpar. Fjärrvärmeanvändningen minskar som mest i *Lokal miljöhänsyn* och *Globalt miljöperspektiv* då tillgången på biobränslen och avfall är begränsad till följd av att mer fokus läggs på miljöhänsyn och resurseffektivitet. I *Regional försörjning* och *Internationell tillväxt* är tillgången på avfall och biobränslen högre, vilket bidrar till att fjärrvärmeanvändningen inte minskar lika mycket som i *Lokal miljöhänsyn* och *Globalt miljöperspektiv*. En annan generell trend som också går att se i alla scenarier är att uppvärmning med direktverkande el fasas ut och ersätts framför allt av värmepumpar.

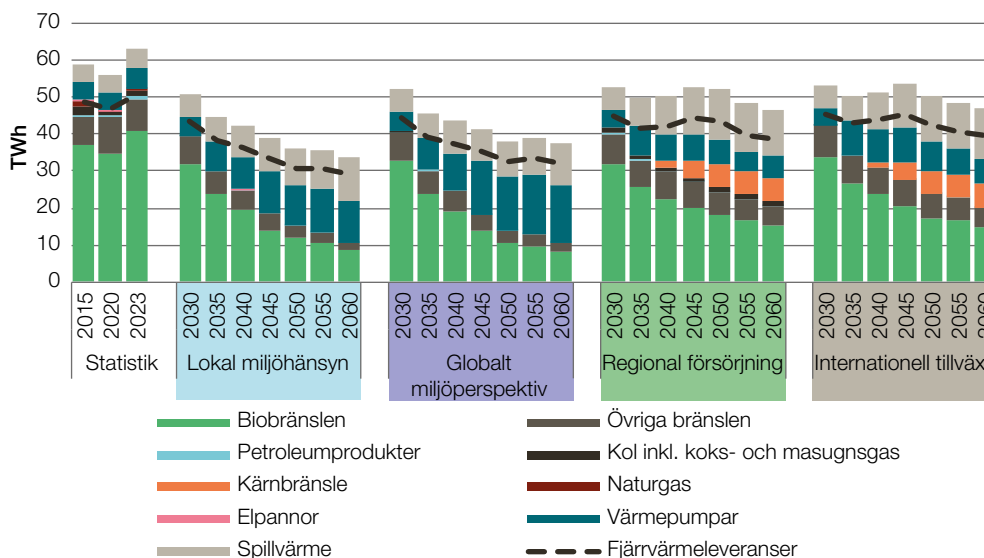
Sammanfattningsvis minskar energianvändningen för uppvärmning och varmvatten till befintlig bebyggelse mer än vad energianvändningen för nybyggnation tillför i samtliga scenarier. Minskningen sker trots befolkningsökning och nybyggnation av bostäder och lokaler i Sverige. Dessutom bidrar den ökande andelen värmepumpar, som producerar mer värme än mängden el som tillförs, till att total tillförd energi för uppvärmningsändamål minskar kraftigt i samtliga scenarier.

6.3.2 Från förbränningsbaserad fjärrvärmeproduktion till förbränningsfri fjärrvärme

Modellberäkningarna visar en vikande efterfrågan på fjärrvärme i samtliga scenarier till följd av dyrare fjärrvärmeproduktion (stigande biobränslepriser)⁴⁸ och ökad konkurrens med värmepumpar och energieffektiviseringar på uppvärmningsmarknaden. För *Lokal miljöhänsyn* och *Globalt miljöperspektiv* (med effektiviseringskrav enligt EPBD) betyder den vikande efterfrågan en nedgång i fjärrvärmeleveranser som stannar i slutet av scenarioperioden (2050) på 36–39 procent relativt 2023, se Figur 39. Med ett perspektiv på *Regional försörjning* och *Internationell tillväxt* (utan effektiviseringskrav) blir nedgången mindre och landar på runt

⁴⁸ I Bilaga A redovisas marginalkostnaden för fjärrvärmeproduktion och priset på skogsflis som indikation på fjärrvärmens kostnadsbild.

15 procent. Potentialbedömningen för de framtida fjärrvärmeleveranserna uppgår sammanlagt till 43–45 TWh 2030 beroende på scenario, 2040 ligger spannet på 36–44 TWh och 2050 på 31–43 TWh.



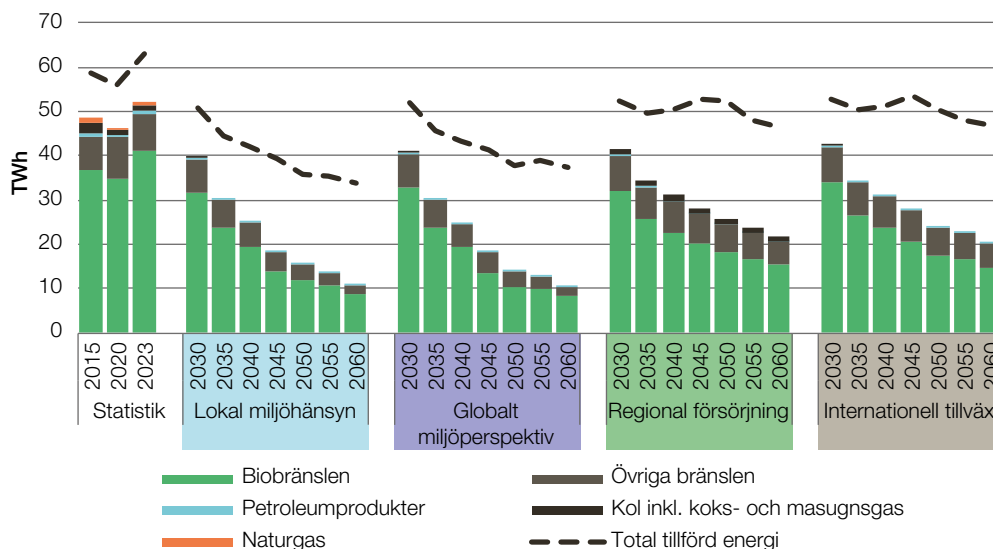
Figur 39. Fjärrvärmeleveranser och tillförd energi för fjärrvärmeproduktion 2015, 2020, 2023 och för respektive scenario 2030–2060, TWh.

Anm: I biobränslen inkluderas den biogena delen från avfallsförbränning.

Att *Lokal miljöhänsyn* och *Globalt miljöperspektiv* resulterar i en större nedgång i fjärrvärmeleveranser beror främst på effektiviseringskraven enligt EPBD. Detta kan tolkas som att marknaden bygger ut mindre fjärrvärme än vad som skulle vara fallet om energiomställningen skulle ske utan krav på ökad energieffektivisering. Samtidigt bidrar en ökande tillgång på avfall och biobränslen till att stärka fjärrvärmens konkurrenskraft, framför allt i produktionsledet. Noterbart är också att i *Regional försörjning* och *Internationell tillväxt* bromsas nedgången i fjärrvärmeleveranser mellan 2035 och 2050 då de mest lönsamma energieffektiviseringsåtgärderna bedöms vara uttömda för att det ska påverka effektiviseringsgraden och därmed fjärrvärmeunderlaget i någon signifikant utsträckning.

När det gäller utvecklingen av fjärrvärmeproduktionsmixen sker en minskning, som i princip följer fjärrvärmeleveransens förändring, och även en förskjutning från förbränningsbaserad fjärrvärmeproduktion till förbränningsfri fjärrvärme i samtliga scenarier. Energittillförseln till den förbränningsbaserade fjärrvärmeproduktionen, som visas i Figur 40, dominerar med cirka 83 procent för 2023. Den tappar sedan andelen något till 2030 och ligger då på 78–80 procent, men minskar därefter kraftigt och ligger i slutet av scenarioperioden (2050) på bara 37–49 procent. Det är framför allt biobränslen som tappar sin dominans i fjärrvärmeproduktionsmixen oavsett scenario. Biobränslets andel i tillförd energi för fjärrvärmeproduktion minskar från 65 procent för 2023 till 27–35 procent i slutet av scenarioperioden (2050).⁴⁹

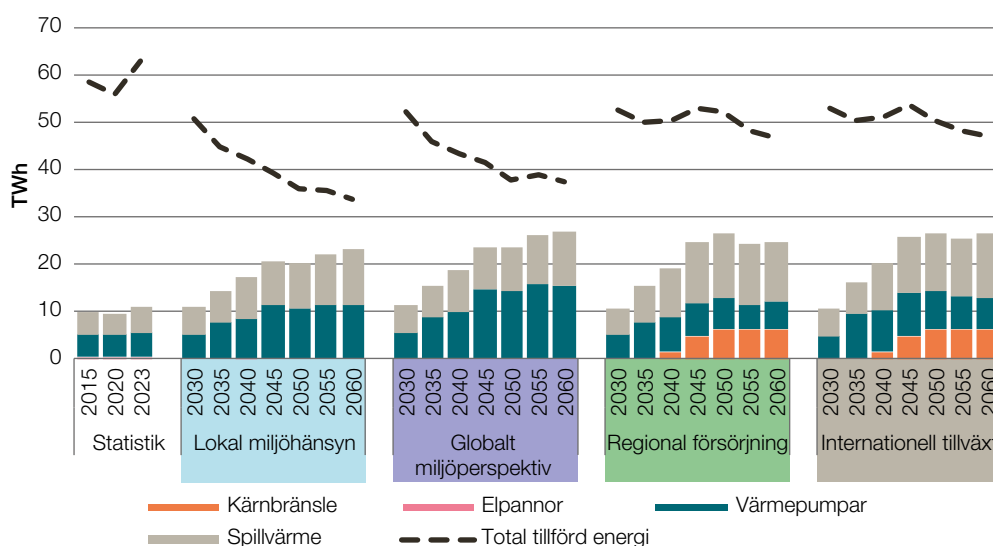
⁴⁹ Mer om utvecklingen av förbränningsbaserad fjärrvärmeproduktion i kraftvärmeverk och värmeverk i Bilaga A.



Figur 40. Tillförd energi för förbränningsbaserad fjärrvärmeproduktion 2015, 2020, 2023 och för respektive scenario 2030–2060, TWh.

Anm: I biobränslen inkluderas den biogena delen från avfallsförbränning.

I stället får spillvärme, både högt tempererad för direktanvändning och lågt tempererad som kräver uppgradering, tillsammans med värmepumpar en betydande andel i framtidens fjärrvärmeproduktionsmix, se Figur 41. I *Globalt miljöperspektiv* blir andelen värmepumpar i fjärrvärmeproduktionen mycket stor vilket förklaras genom en mycket hög andel väderberoende elproduktion till låga kostnader och där även utbudet för fjärrvärme ytterligare försvagas genom minskad tillgång till avfallsförbränning. En typisk förbränningsfri fjärrvärmeproduktion baserat på spillvärme och värmepumpar i scenarierna för 2050 ligger mellan runt 40–60 procent.



Figur 41. Tillförd energi för förbränningsfri fjärrvärme 2010, 2015, 2020, 2023 och för respektive scenario 2030–2060, TWh.

6.3.3 Små modulära reaktorer som ny värmekälla

I *Regional försörjning* och *Internationell tillväxt* sker investeringar i så kallad kärnkraftvärme från små modulära reaktorer (SMR), kopplade till större fjärrvärmesystem. Intäkter från värmeförsörjningen gör det mer lönsamt att investera i kärnkraftvärme från SMR jämfört med konventionella reaktorer. Kärnkraftvärmens konkurrenskraft stärks också av ökade priser för kraftvärmeproduktion när bibränslepriser stiger.

I praktiken innebär SMR kopplade till större fjärrvärmesystem att kärnkraft byggs i närheten av de befolkningsmässigt största städerna. Det är på dessa platser som värmeunderlaget bedöms som tillräckligt stort för att kunna hantera värmeproduktionen från de typer av kärnreaktorer som diskuteras i SMR-sammanhang.⁵⁰ Noterbart är att fjärrvärmeproduktion från kärnkraft i *Regional försörjning* och *Internationell tillväxt* från år 2045 ligger nära eller överstiger fjärrvärmeproduktionen från bibränslen. Detta utgör ett intressant skifte eftersom bibränslen för närvarande utgör den största posten tillförd energi till fjärrvärmeproduktion med en andel på 65 procent (år 2023). I slutet av scenarioperioden kommer cirka 15 procent av fjärrvärmeproduktionen i *Regional försörjning* och *Internationell tillväxt* från kärnkraftvärmeverk. Som nämns i kapitel 4 om kostnaden för ny kärnkraft är antaganden om kostnaden för SMR omgärdad av stor osäkerhet.⁵¹

⁵⁰ För ytterligare analys av denna tillämpning av kärnkraft i Sverige se kapitel 9 i slutredovisningen av Energimyndighetens förslag till fjärrvärme och kraftvärmestrategi som publicerades i december 2023, se Energimyndigheten (2023a).

⁵¹ Flera av de osäkerheter som omringar utbyggnaden av ny kärnkraft samt SMR behandlas i ett underlag till uppdraget om myndighetsgemensam uppföljning av samhällets elektrifiering, se mer i Energimyndigheten (2023b).

Fjärrvärme från kärnkraft/SMR

Fjärrvärme från kärnkraft är inte en ny företeelse, varken i Sverige eller internationellt. I Sverige levererade en kärnkraftsreaktor i Ågesta i södra Stockholm fjärrvärme till stadsdelen Farsta mellan 1964 och 1974. Internationellt finns enligt en sammanställning från internationella atomenergiorganet ett fyrtiotal kärnkraftsreaktorer med så kallad samgenerering av el och värme för fjärrvärme. De flesta av dessa anläggningar byggdes under 70- och 80-talet och är koncentrerade i Östeuropa och Ryssland men med ett undantag i Västeuropa: ett kärnkraftverk i Beznau i Schweiz som sedan 70-talet försett närliggande småstäder med fjärrvärme.⁵²

På senare tid har ytterligare exempel tillkommit, bland annat i Ryssland och Kina, och generellt finns ett växande intresse för att använda kärnkraft i syfte att fasa ut fossila bränslen (kol, naturgas och olja) för fjärrvärmeproduktion. I Sverige är användningen av dessa bränslen för fjärrvärmeproduktion numera mycket begränsad, men utanför Sverige och inte minst i ett flertal europeiska länder, är den fossila användningen fortfarande omfattande. I flera av dessa länder diskuteras fjärrvärme från kärnkraft som en väg till fossilfrihet i uppvärmningssektorn.⁵³

I de exempel som tillkommit på senare tid, i Ryssland och Kina, handlar det om fjärrvärme från storskaliga reaktorer, men generellt finns ett större intresse för denna tillämpning kopplat till utvecklingen av SMR. Ett starkt bidragande skäl för detta är att SMR till följd av sin relativt mindre storlek och effekt kan vara mer lämpade att placera nära populationscentra och fjärrvärmenät än konventionella större reaktorer, vilket gör fjärrvärmertilämpning mer praktiskt och ekonomiskt genomförbar. Värmevolymerna från mindre reaktorer anses också mer hanterbara i fjärrvärmenät. Att kärnkraftverk faktiskt placeras befolkningsnära beror dock slutligen på regelverk och även på social acceptans för detta.

I Sverige finns sedan några år tillbaka ett växande intresse för ny kärnkraft. Regeringen har genomfört lagförändringar som möjliggör kärnkraft på nya platser än de befintliga. I ljuset av detta har många kommunstyren visat intresse⁵⁴ för att husera nya reaktorer och i ett antal kommuner pågår även förstudier eller pilotprojekt för ny kärnkraft.⁵⁵ I bakgrunden finns också regeringens färdplan för ny kärnkraft, med ett uttalat mål om en stor utbyggnad mot år 2045.⁵⁶ För kärnkraftsproducenter skulle ett ekonomiskt värdesättande av värmeproduktion, antingen som fjärrvärme eller för någon annan värmertilämpning, kunna ge projekt en bättre helhetsekonomi. Om det ska byggas ny kärnkraft, i synnerhet på andra platser än de befintliga och nära större bebyggelse är det viktigt med lokal liksom regional acceptans. Den sociala acceptansen för fjärrvärme från kärnkraft är ökad.⁵⁷

⁵² INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (2024); se även IEA (2024).

⁵³ Exempelvis i Finland är användningen av fossila bränslen i fjärrvärmesektorn som helhet långt högre än i Sverige. I Finland utvecklas också en mindre kärnreaktor, med en värmeeffekt på 50 MW, enbart för fjärrvärmertilämpning. Finlands största fjärrvärmebolag Helen, som levererar värme i Helsingforsregionen, samarbetar sedan några år tillbaka för att integrera dessa kärnkraftverk för fjärrvärme mot bakgrund av sitt överhängande mål om förbränningsfri fjärrvärme år 2030.

⁵⁴ Enligt en enkätstudie genomförd av TT från tidigt 2023 där 132 av 290 kommunstyren svarade så svarade 24 att de kan tänka sig att bygga kärnkraft i kommunen, se Svenska Dagbladet (2023).

⁵⁵ I december 2024 fördelade Naturvårdsverket, på regeringens uppdrag, tio miljoner kronor till elva kommuner för att bedriva pilotprojekt som ska omfatta analys och kartläggning av förutsättningarna för etablering av kärnkraftsanläggningar inom kommunen, se Naturvårdsverket (2024). Ytterligare en ansökningsomgång om högst fem miljoner kronor har genomförts och beslut om bidrag väntas i februari eller senast början på mars 2025.

⁵⁶ Delrapport 2: Redovisning av Kärnkraftssamordnarens insatser avseende utbyggnad av ny kärnkraft i Sverige – Januari 2025, Komm2025/00099

⁵⁷ Se diskussion i Energimyndigheten (2023a).

7 Stora förändringar i energisystemet oavsett scenario

Det är tydligt att stora förändringar kommer ske i energisystemet när vi rör oss mot ett energisystem med nettonollutsläpp 2050, oavsett scenario.

Det finns flera slutsatser som är gemensamma för samtliga scenarier. EU:s lagstiftningspaket *Fit for 55* med tillhörande direktiv och förordningar har stor inverkan på utvecklingen. Förbränningsbaserad fjärrvärme och kraftvärme får svårt att konkurrera om biobränslen och står inför en utmanande omställning. Att nå nettonollutsläpp är möjligt och det finns många olika vägar att nå dit. Teknikutveckling och kostnaden för olika tekniker är också viktiga aspekter som kommer att påverka det verkliga utfallet. Elektrifieringen utgör en betydande del av omställningen av energisystemet men elanvändningen varierar stort mellan scenarierna.

Scenarierna är ett underlag för planering. Hur framtiden faktiskt kommer att se ut är en konsekvens av både politiska beslut, omvärldens utveckling och teknikutvecklingen.

7.1 Fyra olika vägar till samma mål

De fyra utforskande scenarierna visar på att vägen till ett energisystem med nettonollutsläpp kan se väldigt olika ut trots samma mål. Hur vägen utkristalliserar sig beror på många olika faktorer med den sammanlänkande gemensamma nämnaren att de påverkar förutsättningarna för energisystemets möjligheter att utvecklas i olika takt och på olika vägar. Vägarna ser olika ut och olika tekniska lösningar kan användas men till slut uppnås ändå samma mål.

En grundläggande förutsättning för samtliga scenarier är att kostnaden och andra begränsande faktorer för att använda fossila bränslen ökar över tid, en följd effekt av den beslutade EU-lagstiftning och styrmedel som i scenarierna antas implementeras i sin nuvarande form. Om denna förutsättning tas bort försvinner en av de viktigaste drivkrafterna i den omställning vi ser framför oss. Det finns andra drivkrafter till omställning men det skulle sannolikt sänka hastigheten i omställningen betydligt.

För de fyra scenarierna antogs det att förutsättningarna som styr energisystemets fortsatta utveckling i huvudsak beror på den övergripande graden av globalisering och miljöhänsyn. Kortfattat kan detta översättas till hur global politik och globala skeenden kan tänkas påverka investeringsvilja, kostnader och tillgång på material i Sverige samt hur graden av miljöhänsyn påverkar möjligheten att använda inhemska resurser. Även antaganden om betalningsvilja för fossilfria produkter varierar mellan scenarierna beroende på hur kombinationen av globalisering och miljöhänsyn tolkas. Detta medför att det går att se väldigt olika utfall i scenarierna.

- I *Lokal miljöhänsyn* (lägre globalisering, högre miljöhänsyn) är acceptansen för att använda inhemska resurser som påverkar närmiljön begränsad. Kombinationen av lägre globalisering och högre miljöhänsyn gör att även energianvändningen är den lägsta bland alla scenarier. Å ena sidan medför kombinerade krav på minimal användning av fossila

bränslen och minimal påverkan på miljön höga energipriser generellt och de högsta elpriserna bland alla scenarier trots låg energianvändning. Å andra sidan är miljövärdena i skog och mark höga.

- I *Globalt miljöperspektiv* (högre globalisering, högre miljöhänsyn) är efterfrågan på fossilfria varor och energibärare mycket hög, både nationellt och internationellt. Samtidigt finns en vilja att i möjligaste mån kombinera hög export av fossilfria varor och bränslen med en så liten påverkan på miljön som möjligt. Det leder till ett scenario som präglas av en anda av samexistens mellan olika intressen. De begränsningar för resursutnyttjande som ändå finns i förhållande till den höga energianvändningen leder till att priserna på fossilfria energivaror ökar och det sker en nettoimport av el.
- I *Regional försörjning* (lägre globalisering, lägre miljöhänsyn) ses en användning av energi som är lägre jämfört med en högre grad av globalisering. Samtidigt är elanvändningen lägst bland alla scenarierna. Förutsättningarna för att möta efterfrågan är goda vilket leder till de lägsta priserna på energi och el av samtliga scenarier. Baksidan är ett större beroende av fossila energislag vilket leder till en ökad användning av koldioxidavskiljning och lagring för att kunna nå nettonollmålet samt fler inskränkningar av miljövärden.
- I *Internationell tillväxt* (högre globalisering, lägre miljöhänsyn) ses den högsta användningen av energi i samtliga scenarier, där en stor del utgörs av vätgas för produktion av fossilfria produkter. Samtidigt är förutsättningarna att möta efterfrågan mycket goda. Detta leder till att priser på energivaror, i synnerhet el, kan förbli relativt lågt jämfört med övriga scenarier och en nettoexport av el sker trots det höga inhemska behovet. En konsekvens är dock att fler inskränkningar av miljövärden sker.

Det finns inget scenario som är mer rätt eller fel än ett annat scenario – de är enbart scenarier som tillsammans ger ett utfallsrum för den framtida utvecklingen. Resultaten från den här rapporten kommer mest till sin rätt när utfallsrummet som ges av samtliga scenarier ställs i förhållande till de förutsättningar (globalisering och miljöhänsyn) som formar utvecklingen av energisystemet. Verkligheten kan komma att utvecklas någonstans inom utfallsrummet, inom gråzonen, mellan de högre och lägre grader av globalisering och miljöhänsyn som målas upp. Utfallet kan även hamna utanför utfallsrummet eftersom framtiden är omöjlig att förutspå. Dessutom finns givetvis fler faktorer än enbart graden av globalisering och miljöhänsyn som påverkar samhällets utveckling.

Vissa trender som går att se idag, som exempelvis införandet av handelstullar, tar oss mot ett mindre globaliserat samhälle med svårigheter att genomföra effektiv handel. Slutandet av nya frihandelsavtal tar oss i andra riktningen, mot ett samhälle med ökande globalisering och förenklad handel. Andra trender, såsom ett mer liberalt skogsbruk, potentiell EU-lagstiftning som minskar möjligheten att använda restprodukter från skogen eller en ökande grad av NIMBY-ism (not-in-my-backyard), kommer ta oss i olika riktningar på axeln för miljöhänsyn. Mängden faktorer som påverkar utvecklingen längs axlarna för globalisering och miljöhänsyn är många. Sannolikheten att alla tar oss i samma riktning är väldigt liten vilket understryker vikten av att se till helhetsbilden som scenariorisultaten visar på och inte peka ut ett scenario som det troligaste.

7.2 Huvudbudskap och slutsatser

Utifrån utfallsrummet som scenarierna spänner upp kan några övergripande slutsatser dras.

7.2.1 EU-lagstiftning har stor påverkan på den långsiktiga användningen av fossila bränslen

Det har hänt mycket inom EU de senaste åren där beslut fattats om flera stora lagstiftningsakter inom paketet *Fit for 55* som skapar ett ökat tryck på minskade klimatutsläpp och minskad användning av fossila bränslen.

EU-lagstiftning såsom utsläppsrättssystemet (EU ETS)⁵⁸ och därigenom priser på utsläppsrätter samt krav på transportsektorn har stor påverkan på energisystemets utveckling på lång sikt i samtliga av EU:s medlemsländer. Priser på utsläppsrätter (EU ETS och ETS 2) ökar kostnaden för att använda fossila bränslen och skapar ekonomiska incitament till omställning inom industrisektorn, energisektorn och inom sjö- och luftfarten. Annan lagstiftning (såsom ReFuelEU Aviation⁵⁹ och FuelEU Maritime⁶⁰) ställer krav som driver på en ökad användning av fossilfria bränslen. Dessa EU-lagstiftningar sätter de grundläggande förutsättningarna för fortsatt användning av energi i allmänhet och fossila bränslen i synnerhet. Lagstiftningen gör helt enkelt att incitamenten att använda alternativa energislag eller koldioxidinfångning ökar, vilket får genomslag i scenarioresultaten.

EU:s utpekade linje mot ökade kostnader för användandet av fossila bränslen påverkar även förutsättningarna för energisystemets omställning indirekt. Så länge EU arbetar för att både begränsa och göra användandet av fossila bränslen dyrare kommer efterfrågan av och betalningsviljan för fossilfria bränslen att öka inom EU. Denna utveckling av betalningsviljan för fossilfria bränslen antas också i scenarierna och leder till att det ur ett svenskt perspektiv går att se en stark exportmarknad för dessa bränslen.

Vidare driver även den förväntade kostnadsökningen för användning av fossila bränslen på storskaliga satsningar inom industrin. Utan en förväntad kostnadsökning är det mindre troligt att industrin skulle visa den vilja till omställning som den faktiskt gör i form av storskaliga projekt med fokus på fossilfrihet. Det bidrar också med en möjlighet att stärka Sveriges konkurrenskraft, då företag kan lockas att etablera sig här tack vare goda förutsättningar för fossilfri el- och energiproduktion.

Omställningen är således inte enbart en fråga om att minska klimatutsläppen utan det handlar också om den svenska industrins konkurrenskraft, svenska arbetstillfällen och Sveriges relevans som exportnation. Sverige har ett antal stora företag som verkar på en internationell marknad och för dessa företag är det inte självklart att satsningar kommer att ske i Sverige om inte förutsättningarna finns där.

Det är uppenbart att EU-politiken är mycket viktig för det svenska energisystemets utveckling, för omställningen till fossilfrihet och för den svenska industrins konkurrenskraft. För att svensk industri ska kunna ta del av internationella stöd och vara konkurrenskraftiga

⁵⁸ EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS DIREKTIV 2003/87/EG av den 13 oktober 2003 om ett system för handel med utsläppsrätter för växthusgaser inom unionen och om ändring av rådets direktiv 96/61/EG.

⁵⁹ EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS FÖRORDNING (EU) 2023/2405 av den 18 oktober 2023 om säkerställande av lika villkor för hållbar lufttransport (ReFuelEU Aviation).

⁶⁰ EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS FÖRORDNING (EU) 2023/1805 av den 13 september 2023 om användning av förnybara och koldioxidsnåla bränslen för sjötransport och om ändring av direktiv 2009/16/EG (FuelEU Maritime).

på den globala marknaden är det viktigt att Sveriges utveckling ligger i linje med EU:s utveckling. Det är därför också viktigt att hålla kvar vid det tryck från EU som finns och värna EU-samarbetet om Sverige ska kunna nå nettonollutsläpp 2050. Solidariteten mellan EU-länderna kommer att bli en viktig faktor för att upprätthålla omställningstrycket i unionen. Sverige har goda förutsättningar att vara drivande i EU:s omställning genom god tillgång på energi till konkurrenskraftiga priser.

7.2.2 Förbränningsbaserad fjärrvärme och kraftvärme står inför en utmanande omställning

Genom den EU-lagstiftning som kommit ur *Fit for 55* påverkas konkurrenskraften för fossila bränslen och bidrar till en växande marknad för fossilfria bränslen inom unionen. I Sverige ökar produktionen av fossilfria bränslen, både för användning inom Sverige och för export. Detta driver upp kostnaden för biomassa råvara i scenarierna. För användare av trädbränslen medför kostnadsökningen stora förändringar i energisystemet i samtliga scenarier, inte minst för förbränningsbaserad fjärrvärme- och kraftvärmeproduktion.

Biobaserad kraftvärme och fjärrvärme minskar kraftigt i samtliga scenarier framför allt till följd av den ökade konkurrensen om biobränslen. För fjärrvärmen handlar det om en omställning från biomassa till ökad användning av värmepumpar, spillvärme och effektiviseringsåtgärder. I två av scenarierna sker också en del av fjärrvärmeproduktionen med hjälp av kärnkraft (genom småskaliga modulära reaktorer, SMR). För kraftvärmen handlar det om en minskad elproduktion i samtliga scenarier. Elproduktionen från kraftvärmen ersätts i stället av andra kraftslag med helt andra förutsättningar och sannolikt placerad på en annan geografisk plats. En utfasning likt den vi ser i scenarierna kan medföra en effektproblematik inom lokala nät, vilket till viss mån kompenseras av små modulära reaktorer i två av scenarierna.

Från ett lokalt perspektiv och ett beredskapsperspektiv kan både fjärrvärmen och kraftvärmen medföra nyttor som inte fullt ut fångas i dessa scenarier. Med den konkurrensbild som scenarierna visar på är det mycket viktigt att dessa nyttor värdesätts på ett korrekt sätt vilket Energimyndigheten också belyst tidigare⁶¹. Vikten av att värdesätta dessa nyttor handlar inte enbart om att säkerställa att nyttorna bibehålls där de behövs, värdesättningen är minst lika viktigt för att förstå om och när det kan vara mer rationellt att gå vidare med en annan lösning.

7.2.3 Vägen till nettonollutsläpp kan se väldigt olika ut trots samma mål

Det är fyra olika vägar till ett energisystem med nettonollutsläpp 2050 som målas upp av scenarierna. Det handlar om väsentliga skillnader i storleken på elbehovet, behov av vätgasproduktion, inhemsk biobränsleanvändning och sammansättningen av energimixen generellt. Acceptansen för att utnyttja naturresurser, acceptans för att bygga ut elproduktion och elnät samt att skapa ett investeringsklimat som bidrar till att stora satsningar blir av är några av de stora påverkansfaktorer som formar omställningen. Dessa faktorer påverkar inte bara hur vägen framåt ser ut, utan också med vilken takt förändringen sker. Givet att vidden av möjliga utfall för dessa faktorer är väldigt stort, innebär detta många olika teknikspår som bidrar till utsläppsminskning har en möjlig roll att spela i omställningen. Hur stor och viktig den rollen blir beror dels på kostnader, dels på hur acceptans och målprioriteringar utformas framåt. För

⁶¹ Energimyndigheten (2023a)

att underlätta omställningen framåt kommer det vara viktigt att olika delar av energisystemet går i takt med varandra, att styrningen mot energi- och klimatmålen är konsekvent och att mål- och intressekonflikter hanteras.

Omställningen omfattar hela energisystemet där systemets samtliga komponenter växelverkar med varandra. En ändring av förutsättningar i en del av systemet får följeffekter i en annan del och ändrar olika teknikers relativa fördelar, något som scenarierna också visar. För bio-bränslen och el är efterfrågan förvisso generellt hög, men efterfrågan på elektrobränslen ökar i scenarierna ju mer biomassapotentialet begränsas vilket ökar betalningsviljan för el. Nyttan med koldioxidinfångning beror på betalningsviljan för fossilfria produkter och negativa utsläpp, men även på behovet av råvara till de elektrobränslen som efterfrågas. Kärnkraften, vars kostnader gör att nya storskaliga reaktorer får svårt att konkurrera, kan bli lönsam om småskaliga reaktorer ges möjlighet att sälja värme till fjärrvärmenäten när konkurrensen om biobränslen ökar. Även om vissa tekniker visar på mer robusta trender än andra, som att storskalig utbyggnad av landbaserad vindkraft, elektrifiering av vägtransporter och produktion av fossilfria bränslen alltid är konkurrenskraftigt, visar scenarierna på att det finns olika vägar till samma mål, där olika teknikspår bidrar olika mycket.

7.2.4 Teknikutveckling kommer påverka utvecklingen av det framtida energisystemet

Kostnaden på teknik har en stor påverkan på energisystemets utveckling. Takten och den möjliga framgången kopplad till olika teknikers kostnadsutveckling är mycket osäker. I scenarierna antas en förutbestämd kostnadsutveckling för olika tekniker och komponenter i energisystemet. Det är troligt att utvecklingen för olika tekniker kommer se olika ut och nå olika grad av framgång. Detta förändrar den relativa konkurrenskraften mellan tekniker och påverkar därmed förutsättningarna för energisystemets utveckling framåt. Scenarierna är också baserade på teknik som vi har god kännedom om. Framåt 2050–2060 kan både valet av teknik och kostnadsbilden för olika tekniker se mycket annorlunda ut än vad som antagits i scenarierna.

Teknikutveckling av fossilfri teknik skapar en potential för fossilfri teknik att på sikt bli det kostnadsmässigt bästa alternativet och minskar behovet av att fossila bränslen ska bära kostnaden för sin klimatpåverkan. Inom vissa delar av energisystemet går det att se tecken på att fossilfria tekniker är konkurrenskraftiga alternativ redan idag. När det kommer till elektrifieringen av vägtransporter är det ett robust resultat i scenarierna, omställningen och teknikutvecklingen antas i princip ha kommit så långt att totalkostnaden för att äga en elbil i framtiden kommer att understiga kostnaden för att äga en bil med förbränningsmotor. När det kommer till industrins omställning eller exempelvis omställning av tunga vägtransporter, sjöfart och flyg är det fortsatt mer öppet vilken teknik som kommer att dominera. I scenarierna kommer flera relativt nya tekniker eller energibärare in i systemet (såsom elektrobränslen och CCS) men i och med att tekniken är ny finns också stora osäkerheter kring framtida kostnads- och teknikutveckling. Också för elproduktionen kan teknikutvecklingen förändra förutsättningarna för olika kraftslag att vara konkurrenskraftiga.

Teknikutveckling sker inte momentant utan är en process med oftast stegvisa förbättringar. Nya tekniker är sällan kostnadseffektiva när de precis börjar etableras på en marknad men potentialen för kostnadsutvecklingen på sikt kan vara mycket stor. Det pekar också på vikten av att satsa på forskning och innovation inom områden som anses prioriterade och att stödja nya tekniker innan de är fullt etablerade på marknaden.

Teknikutvecklingen av fossilfri teknik drivs till stor del av att det finns en kostnad för att släppa ut koldioxid men kostnadsutvecklingen för olika tekniker drivs också av andra omvärldsfaktorer. Exempelvis kan Kinas stora satsningar och export av exempelvis elfordon, batterier, solceller, elektrolysörer m.m. driva på kostnadsutvecklingen för fossilfri teknik och göra den mer konkurrenskraftig än den är idag. Detta driver på storskaligheten av utvecklingen, en viktig faktor för snabb teknikutveckling. Teknikvalet kan då också i viss utsträckning komma att bli mer styrt av vad som händer i omvärlden än av EU-lagstiftning. För Sverige, som är ett litet land, är det viktigt med fungerande internationella samarbeten och handel för att dra nytta av teknikutvecklingens potential till fullo.

7.2.5 Fortsatt stort utfallsrum för elanvändningen

Scenarierna spänner upp ett stort utfallsrum när det gäller det framtida elbehovet. Trots utfallsrummets storlek pekar trenden, oavsett scenario, mot en ökad elanvändning i det framtida energisystemet, vilket främst är en följd av att kostnaden för utsläpp ökar. I det lägsta scenariot är elanvändningen cirka 220 TWh år 2050 medan det högsta närmar sig 360 TWh. De mer robusta trenderna som går att se är exempelvis en betydande elektrifiering av transportsektorn och en ökande användning av värmepumpar för uppvärmning, både för storskalig fjärrvärme och för enskilda hus. Inom industrin sker också en betydande elektrifiering, inte minst genom en ökad användning av vätgas.

Skillnaden i elanvändningen mellan det högsta och lägsta scenariot är cirka 140 TWh år 2050. Skälet till den mycket högre nivån av elanvändning är framför allt en följd av en ökad vidareförädling av inhemska råvaror, nyindustrialisering och en global digitalisering. Drivkrafterna är i huvudsak möjligheter till ökad export av varor och tjänster och är mer kopplade till en global omställningstrend än en inhemsk strävan mot nettonollutsläpp.

Inom industrin har mycket hänt de senaste åren som lett till att flera stora omställningsprojekt eller nyetableringar har avbrutits eller skjutits på framtiden. Att det finns projekt som tvingas till senareläggning eller avvecklas ska inte ses som ett tecken på att omställningen i sig inte kommer att bli av. Det är naturligt i tider av lågkonjunktur att projekt skjuts på framtiden och eftersom det i stor utsträckning handlar om ny teknik finns större risker och osäkerhet innan marknaden mognat (t.ex. vad gäller elektrobränslen). Att det sker en omställning är dock inte en tillfällig trend utan den kommer att fortsätta så länge målen och riktningen i styrningen består. Viktigt att komma ihåg är också att det handlar om en långsiktig omställning och strukturomvandling. Det är mycket som behöver ske inom elsystemet för att en kraftigt utökade elanvändning ska komma till stånd men omställningen sker gradvis. Den högsta elanvändningen förväntas i slutet av scenarioperioden, runt 30 år framåt i tiden.

För att elanvändningen ska kunna öka krävs att såväl elnät som elproduktion kan byggas ut i stor omfattning för att kunna tillgodose den ökande efterfrågan. Det finns ett ömsesidigt beroende mellan användning, produktion och infrastrukturutbyggnad som alla påverkar utvecklingen framåt. Framför allt krävs det en möjlighet för ökad elproduktion som leder till konkurrenskraftiga elpriser och att fossila bränslen bär kostnaden för sin klimatpåverkan.

Givet det utfallsrum som scenarierna presenterar finns inget motsatsförhållande mellan hög efterfrågan och låga elpriser. Det är snarare så att det är acceptansen för och möjligheten att bygga ut elproduktion och infrastruktur som kommer att påverka elpriset mest. Tillåts kraftslag med låg produktionskostnad att byggas ut kommer också elpriset bli relativt lågt, vilket i sin tur kommer driva på en ökande elanvändning. Begränsas möjligheterna för utbyggnad ökar elpriset, vilket leder till lägre elanvändning. Det kommer alltid finnas ett behov av att prioritera bland olika mål vilket kommer påverka kostnader och hur kostnaden fördelas i samhället.

Samtidigt har Sverige väldigt goda förutsättningar för att bygga ut ny kraftproduktion vilket gör en hög elanvändning med relativt lågt elpris möjlig.

7.2.6 Flera drivkrafter bakom ökad elanvändning

Energisystemets omställning handlar inte om *en* omställning med *en* gemensam drivkraft. Det rör sig snarare om ett flertal olika utvecklingsspår och skilda målsättningar. Strävan mot ett minskat beroende av fossila bränslen drivs exempelvis inte enbart av dess klimatpåverkan utan är även en fråga om geopolitik och försörjningstrygghet samt luftföroreningar. Även de fossilfria teknikalternativen medför någon form av miljöpåverkan eller påverkan på omgivningen som begränsar eller medför nya målkonflikter. Hur dessa hanteras har en stor påverkan på utfallsrummet för framtidens elanvändning.

Tittar vi närmare på olika sektorer och branscher blir också tydligt att hinder, drivkrafter och möjliga utvecklingsvägar skiljer sig åt. Nedan beskrivs ett antal specifika utvecklingsspår som har stor inverkan på framtidens elanvändning.

Den möjliga realiseringen av potentialen för direktreduktion av järn i Sverige påverkas av betalningsviljan för fossilfritt järn och stål. Oaktat betalningsviljan finns alternativa utvecklingsvägar mot nettonollutsläpp för branschen. Dels kan den malm som idag exporteras från Sverige fortsätta exporteras utan nya förädlingssteg, dels kan koldioxidavskiljning och lagring minska utsläppen med fortsatt användning av fossila bränslen.

Elektrifieringen av fordonsflottan påverkas inte minst av kostnadsutvecklingen för batterier och utbyggnad av laddinfrastruktur. Konkurrenskraften för elfordon är god då dessa fordon bara använder en tredjedel så mycket energi som ett fordon med förbränningsmotor och därmed inte är lika känslig för drivmedelspriset (det vill säga elpriset). Ett alternativ till el är fossilfria drivmedel.

För produktion av fossilfria bränslen måste det framför allt finnas en stark global efterfrågan på produkterna. Det finns också flera sätt att tillverka fossilfria bränslen där elektrobränslen och biobränslen från skogsflis får störst påverkan på Sverige i scenarierna. Utfallet beror bland annat på tillgången på el till konkurrenskraftiga priser och tillgången på biprodukter från skogsbruket vilket slutligen avgör nivån på elanvändningen.

En ökad etablering av datacenter har sitt ursprung i en global digitaliseringstrend där det inte är givet var i världen dessa placeras. Datacenter är inte lika beroende av investeringscykler som industrin och inte heller lika beroende av närhet till råvaror eller annan infrastruktur utöver elnät. De kan därför vara mer flexibla kring när i tiden investeringen ska ske och var de ska lokaliseras. Det kan därför vara enklare att hitta en lokalisering där det finns möjlighet för elanslutning jämfört med annan elintensiv industri.

7.3 Scenarierna i förhållande till de energipolitiska pelarna

En utgångspunkt för scenarierna har varit de tre energipolitiska pelarna som ligger till grund för både EU:s och Sveriges energipolitik. De tre pelarna är ekologisk hållbarhet, försörjningstrygghet och konkurrenskraft. Vid en analys om huruvida ett scenario till exempel är ekologiskt hållbart eller inte ska det inte tolkas som svart eller vitt, utan mer som att man rör sig inom en större domän.

7.3.1 Ekologisk hållbarhet

Den omställning som scenarierna visar på kommer innebära ett ökat tryck på att nyttja de inhemska resurser som finns tillgängliga. Genomförandet av omställningen kommer innebära ett ökat behov av resurser som inte används i samma utsträckning idag samtidigt som uppfyllandet av målet om nettonollutsläpp i sig är en viktig del av ekologisk hållbarhet.

- Elektrifieringen innebär ett ökat behov av olika metaller och mineral för exempelvis produktion av batterier, solceller, vindturbiner och elektrolysörer. Utvinning och anrikning av metaller och mineral ger upphov till en ökad miljöbelastning och kan påverka både naturmiljöer och människors levnadsförhållanden negativt.
- En utbyggnad av den infrastruktur som kommer att krävas för att få till stånd en omställning av energisystemet kommer också att medföra ökade markanspråk. En ökad markanvändning kan negativt påverka naturmiljöer, människors levnadsmiljö och landskapsbilden samt skapa barriärer som kan påverka den biologiska mångfalden.
- Omställningen bidrar till att användningen av fossila bränslen minskar i samtliga scenarier. Utöver effekter inom Sverige kan en minskad användning av fossila bränslen även medföra positiva miljöeffekter i de länder där de fossila bränslena utvinns idag.

En av grundförutsättningarna i samtliga scenarier är att kravet om ekologisk hållbarhet uppfylls – inget scenario omfattar antaganden om resursanspråk som bedöms omöjliggöra en ekologisk hållbar framtid. Då begreppet ekologisk hållbarhet ger utrymme för tolkning blir varje scenarios påverkan på miljön olika ur ett ekologiskt hållbarhetsperspektiv.

Den mest uppenbara skillnaden mellan scenarierna är att de antar olika grad av miljöhänsyn, vilket är direkt kopplat till ekologisk hållbarhet. Det är självklart så att den omställning som förespråkas i scenarierna *Lokal miljöhänsyn* och *Globalt miljöperspektiv* per definition innebär en mindre belastning på miljön genom ett minskat resursanspråk än *Regional försörjning* och *Internationell tillväxt*. Det bör dock poängteras att de två sistnämnda scenarierna inte är framtagna som sådana som helt ignorerar ekologisk hållbarhet, men de tänjer mer på gränserna för vad naturen och miljön klarar av.

Det finns också ett värde i orörd mark och natur som är svårkvantifierad. Att fullt ut maximera uttaget av resurser likt förutsättningarna för *Internationell tillväxt* kan ifrågasättas med respekt för just ekologisk hållbarhet. Likaledes kan det diskuteras om den mer restriktiva synen på användandet av naturresurser i *Lokal miljöhänsyn* bromsar energisystemets omställning. Till slut är det upp till samhället och politiken att avgöra vilken balans mellan bevarandet av natur och ekonomisk utveckling som är önskvärd – utan att den ekologiska hållbarheten åsidosätts.

7.3.2 Försörjningstrygghet

Omställningen till ett energisystem med nettonollutsläpp sker gradvis vilket kommer att vara utmanande ur ett försörjningstrygghetsperspektiv. Beredskapsstrategier och åtgärder kommer behöva ändras i takt med att omställningen sker. Samtidigt medför omställningen nya förutsättningar som potentiellt gynnar försörjningstryggheten på sikt.

Den omställning som sker i samtliga scenarier har samma övergripande effekt på energisystemet. I scenarierna sker en omställning där dagens bränslebehov ersätts av ökande elanvändning och fossilfria bränslen. Den ökade elanvändningen sker samtidigt som det också sker en förväntad förändring av elproduktionsmixen mot en ökad grad av variabel elproduktion. Råvaror till produktion av fossilfria bränslen kommer i ökande grad från inhemska resurser. Resultatet blir att energisystemet minskar sitt importberoende av fossila bränslen och ökar självförsörjandegraden med ett mer decentraliserat energisystem, vilket är positivt för försörjningstryggheten.

En utveckling mot en ökad decentralisering och spridning av kritiska anläggningar och infrastruktur minskar effekten från enskilda händelser på systemnivå. För elsystemet ses en tydlig trend mot en ökad decentralisering och övergång från stora synkrongeneratorer till mer variabel elproduktion, främst i form av ökad vindkraft. Även den ökade användningen och produktionen av fossilfria bränslen bidrar potentiellt till en ökad decentralisering av energisystemet. En stor del av produktionen av biobränslen och elektrobränslen i scenarierna använder skoglig biomassa som råvara. Historiskt har användningen av skogsråvara följt tillgångens lokalisering, vilket inte minst återspeglas av att stora användare av skogsbiomassa som sågverk, massabruk och kraft- och värmeanläggningar finns utspridda över landet. Det finns med andra ord tydliga indikationer på att produktionen av fossilfria bränslen kommer spridas över landet, vilket förstärks ytterligare om spillvärmerna ska användas för fjärrvärme.

Nuvarande beredskapslagersystem bygger på att hålla ett lager av olja och drivmedel. Den omställning som sker i scenarierna får en direkt påverkan på detta beredskapslagersystem. Med en ökande grad av variabel elproduktion ses också en ökad installerad effekt för gasturbiner. Samtidigt minskar bränslebehovet inom användarsektorer till förmån för ökad elanvändning och det sker en ökande produktion av fossilfria bränslen, vilket ökar möjligheten att hålla beredskapslagren fyllda. Omställningen kan medföra att behov och syfte med lagren kan komma att ändras.

Samtidigt är det en stor omställning som scenarierna målar upp med nya tekniska lösningar. Framväxten av ett energisystem med mer variabel produktion medför också en framväxt av system för att hantera variabiliteten, såsom lagringsteknik, gasturbiner och användarflexibilitet. Dessa tekniker bidrar till försörjningstrygghet i vardagen. Även om huvudsyftet inte är beredskap har de alla möjligheter att bidra till en förbättrad beredskap i Sverige. Utveckling av nya beredskapssystem som matchar behoven och anpassar sig efter de nya möjligheter som ett energisystem med nettonollutsläpp medför måste utvecklas.

7.3.3 Konkurrenskraft

Konkurrenskraften hos aktörer som verkar inom det svenska energisystemet bestäms ytterst av relativpriset på energi i kombination med andra komparativa fördelar som Sverige besitter. För den omställning till ett energisystem med nettonollutsläpp som beskrivs av scenarierna är den enskilt viktigaste förutsättningen för en bibehållen eller ökad konkurrenskraft i Sverige att priset för att använda fossila bränslen ökar.

Europa är den största exportmarknaden för Sverige. EU:s långsiktiga klimatpolitiska inriktning har därför avgörande påverkan på konkurrenskraften för ett svenskt energisystem med nettonollutsläpp. Den EU-lagstiftning som medför att kostnaden för att använda fossila bränslen ökar och bidrar till en ökande betalningsvilja för fossilfria produkter och energibärare är en grundförutsättning för att nå en hög konkurrenskraft inom det svenska energisystemet. Detta återspeglas också i scenarioresultaten där teknikalternativ som kraftigt minskar utsläppen av koldioxid är de mest kostnadseffektiva, och därmed också konkurrenskraftiga, alternativen.

Teknikutveckling är en mycket viktig del av en förbättrad konkurrenskraft eftersom det är synonymt med minskade kostnader. Att främja teknikutveckling medför ett minskande beroende av exempelvis EU-lagstiftning för att bibehålla konkurrenskraften. Potentialen för teknikutveckling på sikt är också stor, där fossilfria alternativ är konkurrenskraftiga helt utan stöd från EU-lagstiftning eller andra stöd. Många av de tekniker som utgör viktiga hörnstenar av scenarioresultaten, som exempelvis elektrolysörer, visar också på stora möjliga potentialer för kostnadsminskning.

Omställningen av energisystemet innebär inte enbart utmaningar för att bibehålla konkurrenskraften, den skapar också nya möjligheter att öka konkurrenskraften.

- Den ökade produktionen av el från variabla produktionsslag medför att efterfrågefleksibilitet kan ge fördelar och öka lönsamheten för det enskilda företaget, samtidigt som det kan bidra till lägre elpriser för alla företag. För att ett företag ska tjäna på att vara flexibel med sin elanvändning måste dock intäkterna överstiga kostnaderna för flexibiliteten.
- Framväxten av nya exportmarknader, såsom för fossilfria bränslen och produkter, skapar nya möjligheter till konkurrenskraftig produktion. Här kan andra komparativa fördelar kan ge Sverige konkurrensfördelar, som exempelvis närheten till råvaran eller befintlig kompetens.

Att underlätta strukturomvandlingen är en viktig del i arbetet med att stärka företagens förutsättningar att hantera omställningen av energisystemet och bibehålla konkurrenskraft. Omställningen av energisystemet och elektrifieringen möjliggör etablering av nya verksamheter men det kan även innebära att andra verksamheter påverkas negativt och försvinner. För att kunna dra nytta av de möjligheter som omställningen skapar och stärka konkurrenskraften behöver förutsättningar för att företag både ska kunna utvecklas och skapas vara på plats. Det är avgörande att förutsättningarna att elektrifiera finns, att elproduktion och nät byggs ut och att processer för nätanslutningar och tillstånd är effektiva. Några andra exempel på åtgärder som kan förbättra konkurrenskraften är exempelvis att stödja och underlätta för teknikutveckling, förstärka och säkra kompetensutveckling samt att säkerställa långsiktiga förutsättningar för energisystemets utveckling.

Referenser

Energiforsk (2020), *Co-generation of BioJet in CHP plants 2020*, Energiforsk, rapport 2020:664.

Energimyndigheten (2023a), *Förslag till en fjärrvärme och kraftvärmestrategi – slutleverans*, ER 2023:27, Statens energimyndighet 2024.

Energimyndigheten (2023b), *Myndighetsgemensam uppföljning av samhällets elektrifiering*, ER 2023:28, Statens energimyndighet 2024.

Furusjö, E., m. fl. (2022), *Bio-electrofuels – hybrid fuels for improved resource efficiency*. Publikationsnummer: FDOS 45:2022. <https://f3centre.se/en/renewable-transportation-fuels-and-systems/> (hämtad 2025-02-21).

IEA (2025), *The Path to New Era for Nuclear Energy*. IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/the-path-to-a-new-era-for-nuclear-energy> (hämtad 2025-02-18)

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (2024), *Nuclear Power Reactors in the World*. Reference Data Series No. 2, IAEA, Vienna (2024)

Naturvårdsverket (2024), Tio miljoner kronor i bidrag till kommunala pilotprojekt för planering av ny kärnkraft. <https://www.naturvardsverket.se/om-oss/aktuellt/nyheter-och-pessmeddelanden/2024/december/10-miljoner-kronor-i-bidrag-till-kommunala-pilotprojekt-for-planering-av-ny-karnkraft/> (hämtad 2025-02-18)

Proposition 2024/25:1, *Budgetpropositionen för 2025*.

Regeringskansliet (2024), Avslag på 13 havsbaserade vindkraftparker i Östersjön, <https://www.regeringen.se/pessmeddelanden/2024/11/avslag-pa-13-havsbaserade-vindkraftparker-i-ostersjon/> (hämtad 2025-02-21).

Skogsstyrelsen (2023), *Skogliga konsekvensanalyser*, <https://www.skogsstyrelsen.se/miljo-och-klimat/skogliga-konsekvensanalyser/> (hämtad 2025-02-21).

Svenska Dagbladet (2023), Tiotals kommuner öppna för ny kärnkraft. <https://www.svd.se/a/JQIVGX/var-femte-kommun-vill-ha-karnkraft> (hämtad 2025-02-18).

Trafikverket (2024), *Prognos för persontrafiken 2045 – Trafikverkets basprognoser 2024*, Publikationsnummer: 2024:038, Trafikverket 2024.

World nuclear association (2023), *Economics of Nuclear Power*, <https://world-nuclear.org/information-library/economic-aspects/economics-of-nuclear-power> (hämtad 2025-02-07).

Bilaga A – Resultatbilaga

Denna bilaga presenterar mer detaljerade resultat för energisystemets olika sektorer. Här återfinns mer ingående analyser för användarsektorena, dvs, transportsektorn, industrisektorn och bostäder och service. Därutöver ges ytterligare resultat för fjärrvärme och energipriser.

A.1 Transportsektorn

Generellt drivs omställningen inom transportsektorn av EU:s styrmedel, främst priser på utsläppsrätter (ETS 2), tekniska krav på nya vägfordon, krav på växthusgasreduktion i sjöfart och inblandningsplikt i luftfart. Dessa styrmedel driver på en snabb elektrifiering av transportsektorn, i synnerhet vägtrafiken, och en ersättning av fossila bränslen till alternativa bränslen av antingen biologiskt (biobränsle) eller icke-biologiskt ursprung (RFNBO, från engelskans renewable fuels of non-biological origin). I de följande avsnitten undersöks likheter och skillnader mellan scenarierna inom varje delsektor.

Resultat i korthet

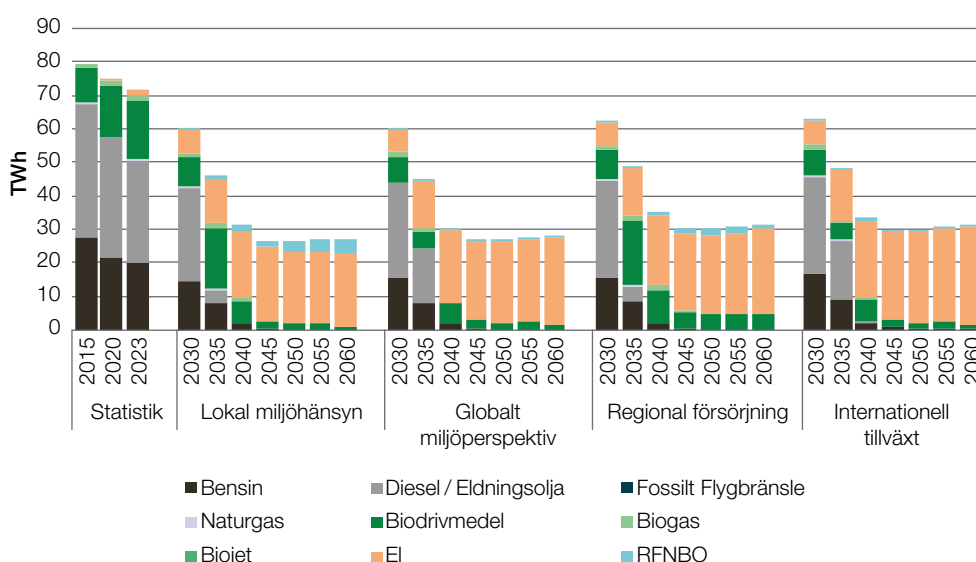
- EU:s krav på utsläppsminskning i nya leveranser av både lätta och tunga fordon förväntas driva på en snabb elektrifiering av vägtransporter, där vätgas potentiellt kan komma in i det största lastbilssegmentet.
- Höga utsläppsrättspriser driver ett skifte från fossil diesel till biodiesel från 2040 i alla scenarier, och med fortsatta skattebefrielser av biodrivmedel redan från 2035. Det finns dock en osäkerhet i detta resultat som är kopplad till potentiellt hög europeisk efterfrågan för biodiesel eller andra biobränslen på lång sikt, vilket kan öka priset.
- Inom både sjö- och luftfart används elektrobränslen i betydande omfattning om konkurrensen om bioråvarorna blir för stor.
- Sjöfartssektorns omställning på lång sikt sker främst genom en övergång till biometanol, där LNG/LBG-fartyg bidrar på kortare sikt. Det bör noteras att svenska rederier kan släppa ut mer eller mindre växthusgaser jämfört med de krav som finns eftersom de har möjligheten att köpa och sälja utsläppsrätter från andra aktörer.
- Inom flygsektorn verkar kraven på minsta inblandning endast på kort sikt, sedan driver ökande utsläppsrättspriser på användningen av alternativa bränslen.

A.1.1 Vägtrafik

Elektrifiering av vägtransporter ses som en av de enklare vägarna till att minska användningen av fossila bränslen inom transportsektorn. För att skapa detta skifte har EU ställt upp strikta krav på utsläppsminskningar vid nyförsäljning av både lätta och tunga fordon. Nya lätta fordon bör vara utsläppsfria från och med 2035. Med nuvarande teknikmognad och ytterligare förväntade förbättringar förväntas elfordon konkurrera ut vätgasdrivna bränsleceller för lätta fordon. För tunga fordon krävs en minskning av de genomsnittliga utsläppen från nya fordon (jämfört med 2019 års nivåer) med 45 procent 2030, 65 procent 2035 och 90 procent 2040. För att uppnå detta kommer tillverkare av tunga fordon i hög grad att behöva satsa på el- eller vätgasdrivna fordon.

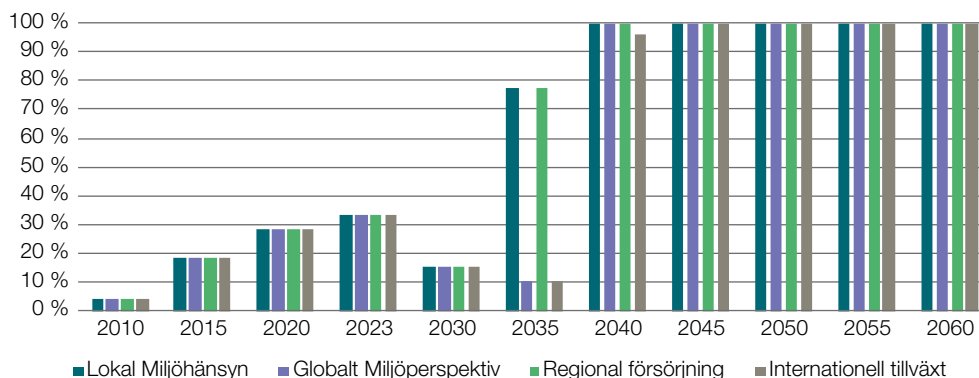
Övergången från fossila bränslen till eldrift i lätta fordon sker i flera steg (se Figur 42). Initialt sker omställningen främst i dieselfordon och därefter i bensinfordon. På kort sikt bedöms laddhybrider vara relevanta eftersom de erbjuder en reservlösning vid osäkerhet kring räckvidd och tillgång på laddinfrastruktur. Två viktiga förutsättningar för omställningen är att det finns tillräckligt med prisvärda elfordon och laddinfrastruktur. Det innebär att lösningar måste hittas för de som inte har tillgång till privat parkering, till exempel genom fler offentliga laddningsstationer, om en omfattande elektrifiering av vägtransporter ska ske.

För tunga fordon förväntas omställningen till eldrift ske långsammare jämfört med lätta fordon, men en övergång till eldrift är ändå förväntad. På kort sikt väljs även vätgas för samtliga scenarier i modellen för långa sträckor med god tillgång till vätgas. I *Lokal miljöhänsyn* och *Regional försörjning* förväntas vätgas bli ett långsiktigt alternativ till batterier för de tyngsta lastbilarna. Detta orsakas av en skillnad i totalkostnaden på de olika teknikerna när det kommer till tunga elfordon. Inköpspriset för batterier blir i de andra två scenarierna tillräckligt lågt för att vara det lönsammare valet.



Figur 42. Vägtrafikens energianvändning 2015, 2020, 2023 och scenarier (2030–2060), TWh.

Om skattebefrielserna för biodrivmedel kvarstår förväntas priset på HVO (hydrerad vegetabilisk olja) vid pump sjunka under priset på låginblandad diesel 2035 och förbli lägre under resten av perioden. I *Lokal miljöhänsyn* och *Regional försörjning*, där skattebefrielserna antas finnas kvar, byter därför nästan alla dieselfordon från fossil diesel till HVO från 2035 och framåt (se Figur 43). Osäkerheter på den internationella bränslemarknaden kan dock påverka denna övergång, särskilt om den europeiska efterfrågan på biodiesel eller andra biobränslen ökar vilket kan leda till högre priser för biodrivmedel och en potentiellt högre användning av fossil diesel i Sverige. Om biodrivmedel inte är skattebefriade (*Globalt miljöperspektiv* och *Internationell tillväxt*) skulle effekten av utsläppsriktpriserna göra att övergången från fossil diesel till HVO börjar 2040 och är fullständig 2045, även i scenarier med lägre utsläppsriktpriser. Det bör noteras att när priset på biodiesel är lägre än priset på fossil diesel kan det fortfarande finnas en begränsning av användningen av biodiesel på grund av äldre fordon som inte kan köras på ren HVO.



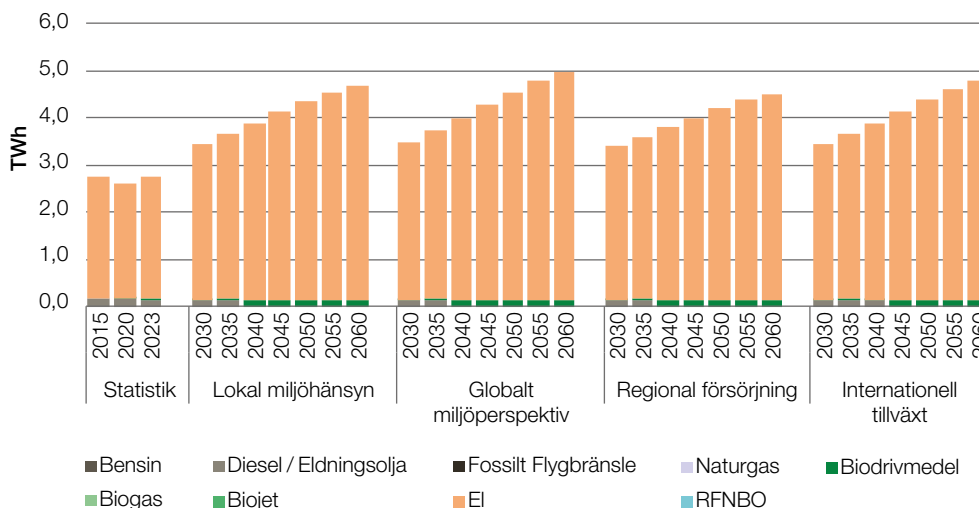
Figur 43. Andel av biodiesel (ren och inblandad) av dieselbränslen användning i vägtrafik, TWh.

Andelsminskningar av biodiesel sker i *Globalt miljöperspektiv* och *Internationell tillväxt*. Scenarierna 2035 (se Figur 43) beror på effekten av reduktionsplikten. Den publika laddningen ökar i takt med den ökande elektrifieringen av vägtransporter, och därmed minskar den nödvändiga inblandningen av biodrivmedel i låginblandade drivmedel (på grund av att drivmedelsleverantörer kan köpa ”elkrediter” för att uppfylla sin reduktionsplikt).

A.1.2 Bantrafik

På grund av att järnvägsnätet redan i hög grad är elektrifierat i Sverige förväntas inte några betydande förändringar i energival för bantrafiken i något av scenarierna. Ökningen av elanvändningen i bantrafiken är ett resultat av stigande transportarbete både för gods och passagerare. Eftersom det endast finns små variationer i dessa mellan scenarierna är profilerna för energianvändningen i stort sett samma. Ett grundläggande antagande i modellen är att det inte sker någon betydande förbättring av energieffektiviteten per utfört transportarbete (till exempel att ha fler passagerare på samma tåg). Om förbättringar skulle ske här skulle det leda till en minskad elanvändning.

Idag är nästan 85 procent av det nationella järnvägsnätet elektrifierat med kontaktledning och 2023 stod el för 95 % av bantrafikens energianvändning, se Figur 44. Det ökade transportarbetet förväntas hanteras med elektrifierade järnvägar, främst kontaktledning, men också med framtidens möjlighet för batterilok. Därmed förväntas diesel- och biodieselanvändningen ligga kvar på dagens nivåer.



Figur 44. Bantrafikens energianvändning 2015, 2020, 2023 och scenarier (2030–2060), TWh.

A.1.3 Sjöfart

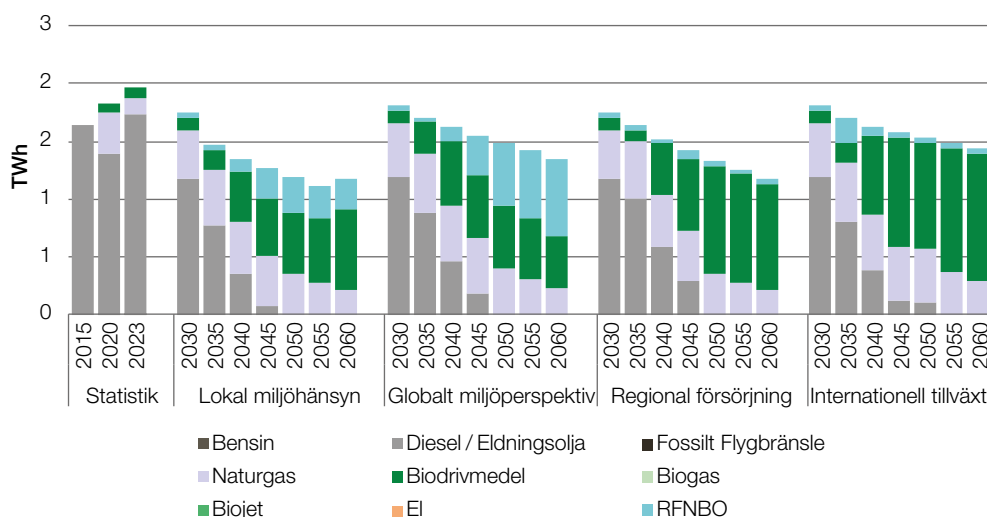
Sjöfarten befinner sig för närvarande i ett tidigt skede av omställningen och marknaden kännetecknas av relativt få specialiserade aktörer som gör långsiktiga investeringar samtidigt som det finns ett stort beroende av lokal infrastruktur för tankning. Med starka långsiktiga styrmedel förväntas dock marknaden genomgå en dramatisk förändring under de kommande två decennierna i alla scenarier.

Energianvändningen inom sjöfartssektorn drivs av EU-förordningen FuelEU Maritime, med skärpta krav på att minska utsläppen av växthusgaser från Europas sjöfartssektor under scenarioperioden. Det finns en betydande osäkerhet i framtida teknikval och känslighet för biobränsle- och elpriser, vilket framgår av skillnaden mellan scenarierna.

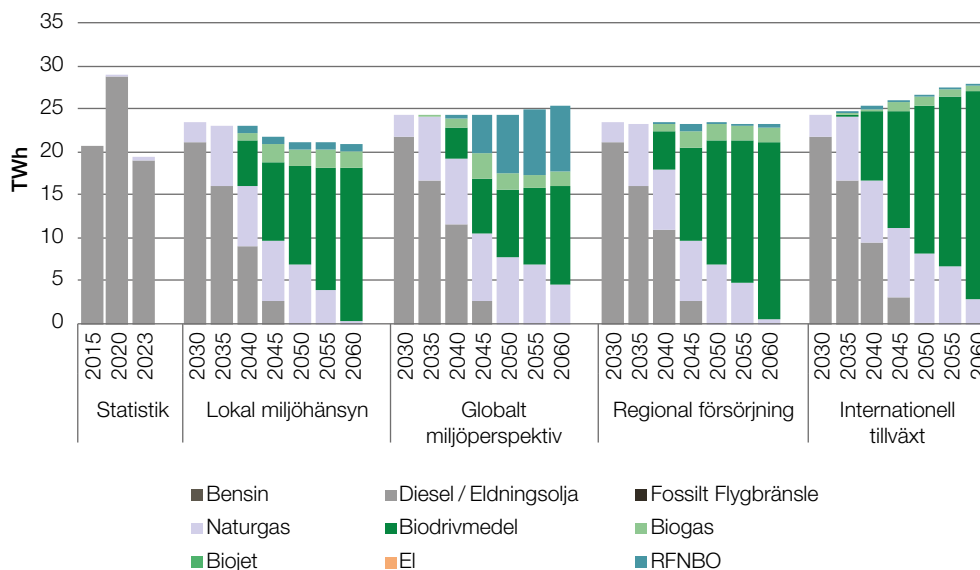
Biodrivmedel, och specifikt biometanol, används i huvudsak för att uppnå utsläppsminskningen. Dessa biodrivmedel ersätter först diesel och därefter LNG som bränsle för sjöfarten. I viss mån blir även elektrobränslen konkurrenskraftiga som alternativ, särskilt när konkurrensen om biomassan och biobränslen ökar. Detta kan ses i *Lokal miljöhänsyn* och *Globalt miljöperspektiv*.

LNG utgör en betydande del av energimixen för inrikes sjöfart och fortsätter att göra det fram mot 2050 i scenarierna. Inom utrikes sjöfart sker en initial tillväxt av LNG-fartyg, men den fasas ut mot slutet av perioden. I scenarier med höga priser på utsläppsrätter leder prisseffekten på fossila bränslen till en tidigare utfasning av LNG-fartyg.

Elanvändningen i fartyg med enbart batterier och hybridfartyg ingick inte som en möjlig teknikväg i modelleringen. Potentialen för detta kan vara betydande, särskilt inom inrikes sjöfart och i scenarier där batterier både är billiga och har förbättrats tekniskt (d.v.s. *Globalt miljöperspektiv* och *Internationell tillväxt*).



Figur 45. Inrikes sjöfarts energianvändning 2015, 2020, 2023 och scenarier (2030–2060), TWh.



Figur 46. Utrikes sjöfarts energianvändning 2015, 2020, 2023 och scenarier (2030–2060), TWh.

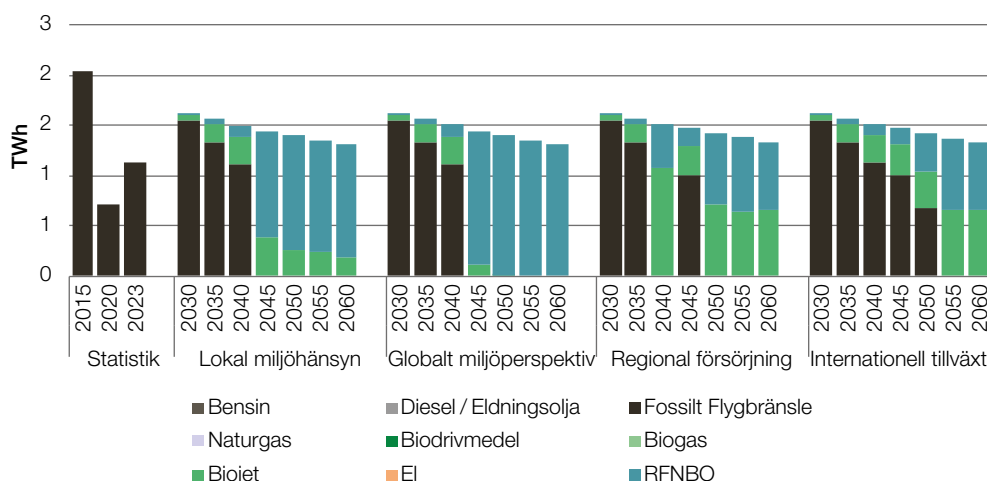
A.1.4 Luftfart

Flyget befinner sig i ett ännu tidigare skede av omställningen än sjöfarten och står inför betydande tekniska utmaningar när det gäller val av energibärare. EU-förordningen ReFuelEU Aviation ger dock en tydlig och jämbördig spelplan för minskad användning av fossila bränslen inom hela EU. Förordningen ställer krav på den lägsta inblandningen av biodrivmedel och elektrobränslen (RFNBO) som ska uppfyllas av alla större flygplatser inom EU.

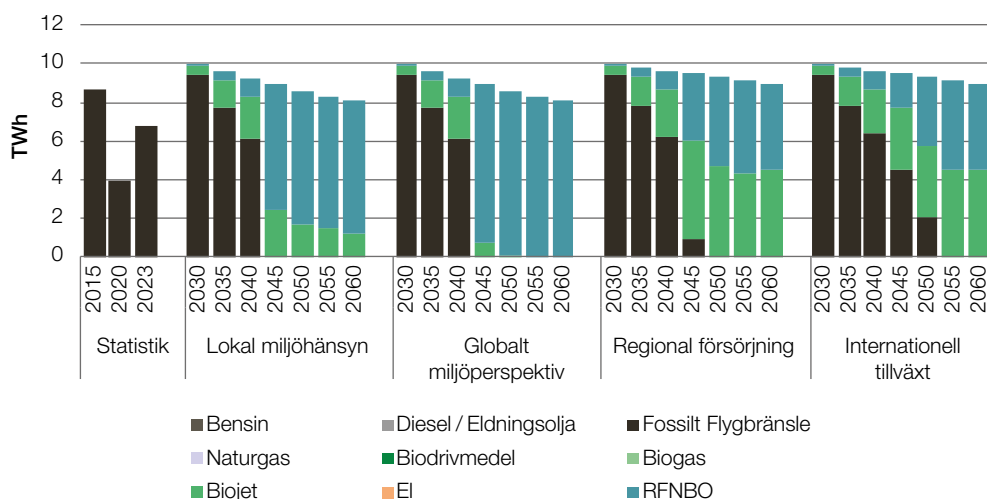
Med krav på att fasa in både biojet och elektrobränsle i flyget ökar användningen av dessa bränslen i linje med miniminivåerna i samtliga scenarier fram till 2040. Därefter beror utvecklingen på flera faktorer. I *Lokal miljöhänsyn* och *Globalt miljöperspektiv* driver priserna på utsläppsätter på utfasningen ytterligare och gör att alla fossila bränslen ersätts av fossilfria alternativ från 2040 och framåt. I dessa två scenarier leder även konkurrensen om biomassan till att mer elektrobränslen används. I *Regional försörjning* är tillgången på biobränslen tillräckligt hög för att göra biojet konkurrenskraftigt 2040 medan utvecklingen i *Internationell tillväxt* mer följer miniminivåerna. Att inrikes fossilt flygbränsle återkommer i *Regional försörjning* 2045, trots ökande kostnader för utsläppsätter, visar att ökad efterfrågan på bioråvaror i andra sektorer kan orsaka oväntade skiftningar på energimarknaden.

Flygsektorn i Sverige befinner sig fortfarande i ett tidigt utvecklingsskede när det gäller el- och vätgasdrivna flygplan. För närvarande finns endast små tvåsitsiga flygplan tillgängliga på marknaden.⁶² Ett sådant flygplan är i drift i Sverige, men det är inte avsett att användas för kommersiella resor. Särskilt inom inrikes luftfart, där nationella upphandlingar sker, är det möjligt att sådana flygplan bidrar till energimixen, men dessa har inte inkluderats i modellanalysen för dessa scenarier.

⁶² Elflyg i Sverige – här befinner sig utvecklingen | RISE



Figur 47. Inrikes luftfarts energianvändning 2015, 2020, 2023 och scenarier (2030–2060), TWh.



Figur 48. Utrikes luftfarts energianvändning 2015, 2020, 2023 och scenarier (2030–2060), TWh.

A.2 Bostäder och service m.m

Resultat i korthet

- Den slutliga energianvändningen i sektorn minskar fram till 2035 för att sedan ligga på en stabil nivå för de olika scenarierna, förutom i *Internationell tillväxt* där energianvändningen ökar från 2035 och framåt.
- Elanvändningen ökar i samtliga scenarier. Det beror främst på en ökad elanvändning inom datacenter och delvis på grund av elektrifiering av arbetsmaskiner.
- Den slutliga energianvändningen för uppvärmning minskar i samtliga scenarier. Det sker på grund av ökad installation av värmepumpar i bostäder och lokaler, energieffektivisering och ett varmare klimat som leder till minskat behov av uppvärmning.
- Fjärrvärmen tappar i konkurrenskraft till värmepumpar, vilket främst beror på ökade kostnader för biobränsle som insatsbränsle i fjärrvärmeverk.
- Energianvändning för arbetsmaskiner minskar mycket i samtliga scenarier på grund av elektrifiering. ETS 2 leder till att fossila bränslen till arbetsmaskiner byts ut mot biodrivmedel. Det är främst HVO och el som används i arbetsmaskiner mot slutet av scenarioperioden.

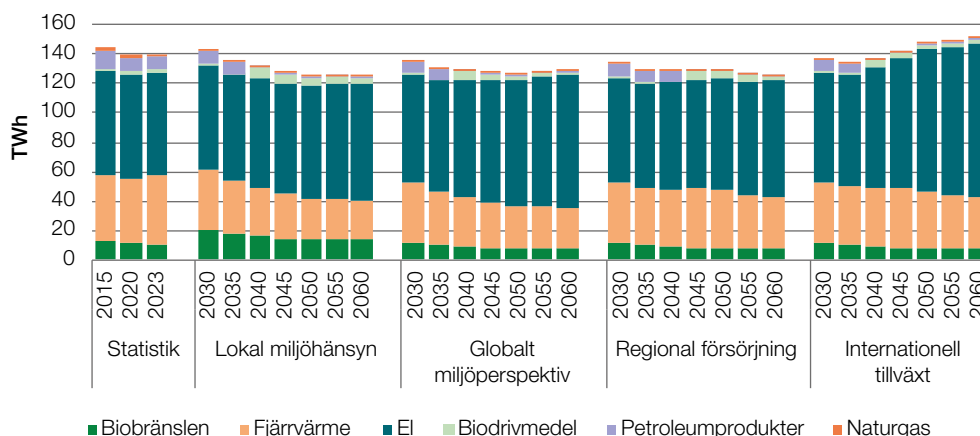
A.2.1 Om sektorn bostäder och service m.m.

Sektorn bostäder och service m.m. inkluderar flera delsektorer. Här ingår energianvändningen för hushåll, service⁶³, jordbruk, skogsbruk, fiske och byggsektor. Energianvändningen är fördelad på olika energibärare.

Den slutliga energianvändningen för denna sektor uppgick till cirka 140 TWh 2023. Mellan åren 2015 och 2023 har energianvändningen varierat mellan 140 och 150 TWh per år. Av sektorns energianvändning 2023 stod hushållen för 60 procent, service 31 procent och de övriga delsektorerna jordbruk, skogsbruk, fiske och byggsektor 9 procent. Energianvändningen för uppvärmning och varmvatten i bostäder och lokaler står för ungefär hälften av sektorns energianvändning. Detta varierar dock mellan olika år eftersom energianvändningen för uppvärmning påverkas av utomhustemperaturen. Elanvändningen är en stor del av energianvändningen, där största delen går till hushållsel och fastighetsel.

A.2.2 Energianvändning i sektorn bostäder och service m.m.

Den slutliga energianvändningen minskar i scenarierna *Lokal miljöhänsyn*, *Globalt miljöperspektiv* och *Regional försörjning* efter 2025 för att sedan ligga på stabil nivå till slutet av scenarioperioden. I *Internationell tillväxt* sjunker även energianvändningen efter 2025 för att sedan öka igen mot slutet av scenarioperioden. Figur 49 visar den slutliga energianvändningen för alla fyra scenarier.



Figur 49. Slutlig energianvändning för sektorn Bostäder och service m.m. 2015, 2020, 2023 samt i de olika scenarierna 2030–2060, TWh.

Biobränsleanvändningen minskar i alla fyra scenarier, främst på grund av högre biobränslepriser i framtiden. Höga biobränslepriser påverkar även fjärrvärmeanvändningen som generellt minskar i alla scenarier, det är bara omfattningen som varierar beroende på scenario. I *Lokal miljöhänsyn* och *Globalt miljöperspektiv* är användningen av fjärrvärme mindre jämfört med *Regional försörjning* och *Internationell tillväxt* eftersom skogen och miljön värderas högre. Det finns mindre tillgång på biobränslen för fjärrvärmeproduktion men framför allt så är det dyrare med biobränslen. Den totala elanvändningen ökar i alla scenarier, främst på grund av ökad elanvändning för datacenter, el till arbetsmaskiner och nybyggnation. Det är högst ökning i *Internationell tillväxt* på grund av högre teknikutveckling och globalisering.

⁶³ Som exempelvis hotell och restaurang, vård, utbildning, IT och datacenter, kultur och nöje, försäkrings- och finansverksamhet, uthyrning och fastighetsverksamhet samt annan serviceverksamhet.

De fossila energikällorna som petroleumprodukter och naturgas minskar i alla scenarier och ersätts med biodrivmedel och el. Minskningen sker fram till 2040 i scenarierna *Lokal miljöhänsyn*, *Globalt miljöperspektiv* och *Internationell tillväxt* medan det för *Regional försörjning* tar längre tid, till 2045.

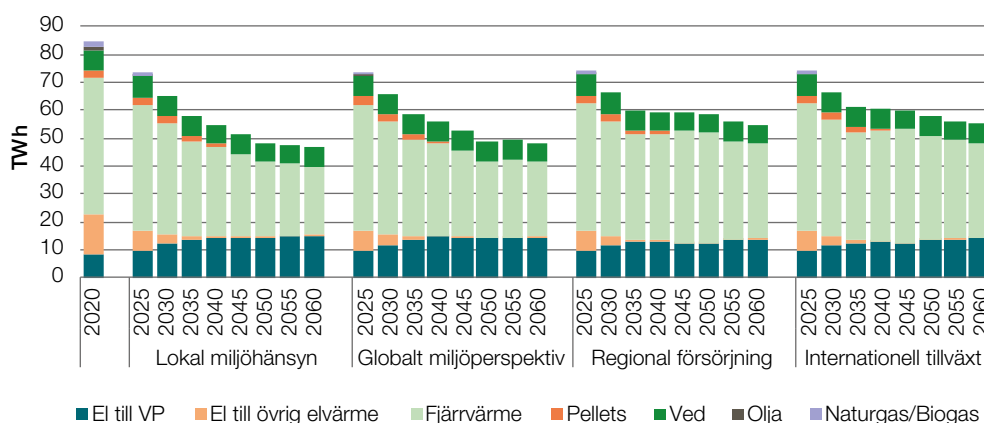
A.2.3 Bostäder och lokaler

Bostäder och lokaler utgörs av småhus, flerbostadshus och lokaler. Energi till uppvärmning och varmvatten samt hushållsel och fastighetsel ingår.

Uppvärmning och varmvatten

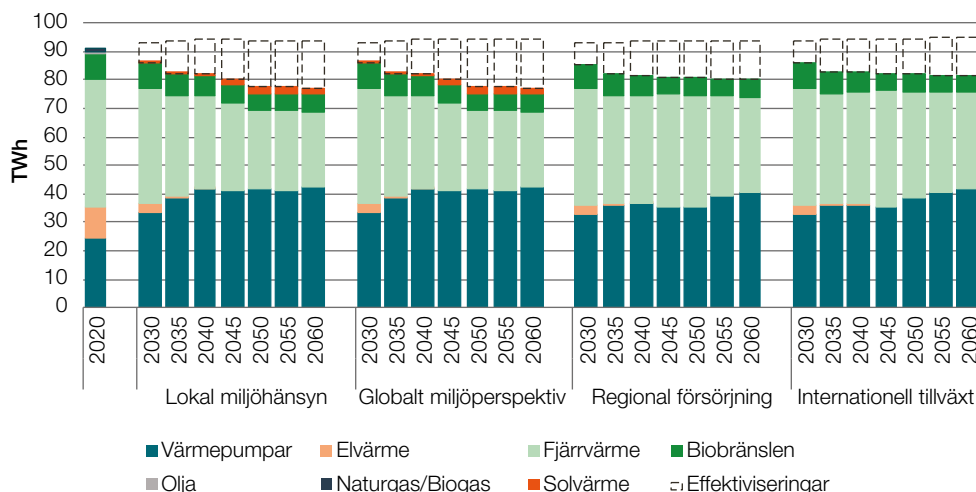
Energianvändningen för uppvärmning och varmvatten minskar under scenarioperioden redan från 2025 i samtliga scenarier, se Figur 50. Det är endast omfattningen av minskningen som skiljer de olika scenarier åt. Minskningen sker trots befolkningsökning och att det byggs nya bostäder och lokaler i Sverige. Det finns tre viktiga orsaker till att energianvändningen för uppvärmning och varmvatten för befintlig bebyggelse minskar i scenarierna:

- Värmepumpar ersätter direktverkande el och konkurrerar med fjärrvärme.
- Energieffektiviserande åtgärder genomförs i befintlig bebyggelse.
- Klimatförändringar leder till varmare klimat som minskar uppvärmningsbehovet.



Figur 50. Slutlig energianvändning för uppvärmning och varmvatten för bostäder och lokaler, TWh. Anm: År 2020 är ett modellresultat.

Tittar man i stället på nyttig värme (värmebehovet som antingen uppfylls via energieffektivisering eller värmetillförsel, där exempelvis upptagen energi från värmepumpar bidrar) för uppvärmning och varmvatten i bostäder och lokaler så ses endast en marginell ökning över scenarioperioden. Den lilla ökning som sker är till följd av nybyggnation, vilket varierar beroende på scenario, se Figur 51. Ökningen i värmebehovet bromsas samtidigt dels av det minskade uppvärmningsbehov som varmare utomhustemperaturer leder till, dels av energieffektivisering.



Figur 51. Total nyttig värme (inkl. upptagen energi från värmepumpar och energieffektivisering) för bostäder och lokaler per energislag, TWh

Anm: År 2020 är ett modellresultat.

I scenarierna *Globalt miljöperspektiv* och *Internationell tillväxt* byggs det lite mer jämfört med scenarierna *Lokal miljöhänsyn* och *Regional försörjning*. Detta beror på en högre grad av globalisering, vilket medför en bättre ekonomi och i sin tur leder till att fler bostäder byggs. Detta motverkas dock något av att uppvärmningsbehovet minskar i framtiden på grund av ett varmare klimat. I alla scenarier minskar uppvärmningsbehovet i befintliga bostäder fram till 2050, se Bilaga B – Metodbilaga.

Elvärme (direktel och vattenburen elvärme) fasas ut helt till förmån för bland annat värmepumpar. Värmepumpar och fjärrvärme dominerar trots minskad andel från fjärrvärme över tid. Fjärrvärmens roll försvagas och tappar marknadsandelar till värmepumpar på grund av att biobränslen, som är viktigaste energislaget i fjärrvärmeproduktionen, blir allt dyrare i framtiden. Det beror på en ökad efterfrågan på biobränslen inom andra sektorer.

I *Lokal miljöhänsyn* och *Globalt miljöperspektiv* är biobränslepotentialen lägre jämfört med de övriga scenarierna. Den är lägst i *Lokal miljöhänsyn*, vilket medför lägre fjärrvärmeanvändning samt fler värmepumpar. Fasta biobränslen i form av ved och pellets för uppvärmning minskar även över scenarioperioden till följd av minskat intresse för vedeldning och ökande priser på pellets.

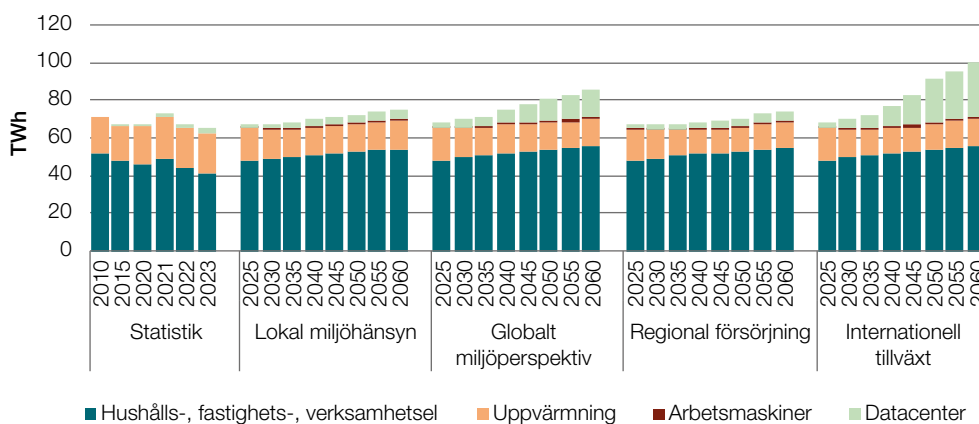
Det är främst energieffektiviseringar som bidrar till att energianvändningen i bostäder minskar. I *Lokal miljöhänsyn* och *Globalt miljöperspektiv* där miljön prioriteras investeras det i värmeeffektiviseringar enligt kraven från EU-direktiv om byggnaders energiprestanda (EPBD)⁶⁴ oavsett kostnad. I *Regional försörjning* och *Internationell tillväxt* konkurrerar effektiviseringsåtgärder med andra uppvärmningsalternativ på marknadsvillkor. Resultaten visar på betydande investeringar i effektiviseringsåtgärder i *Regional försörjning* och *Internationell tillväxt*, vilket tyder på att effektivisering generellt är en kostnadseffektiv åtgärd. Trots detta genomförs fler effektiviseringsåtgärder i *Lokal miljöhänsyn* och *Globalt miljöperspektiv*, vilket tyder på att all effektivisering inte nödvändigtvis är kostnadsoptimal. Övriga antaganden kring energisystemet påverkar också kostnadsbilden och gör att slutsatsen inte är helt entydig.

⁶⁴ EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS DIREKTIV (EU) 2024/1275, https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TEXT/PDF/?uri=OJ:L_202401275&qid=1718801505401 (2025-01-15)

Sammantaget har värmepumpar och energieffektiviserande åtgärder stor inverkan på hur den slutliga energianvändningen utvecklas i sektorn. Om inga värmepumpinstallationer eller andra effektiviseringar genomfördes skulle energianvändningen för uppvärmning och varmvatten i bostäder vara betydligt högre.

Elanvändning i bostäder och lokaler

Elanvändningen för olika användningsområden inom bostäder och service redovisas i Figur 52.



Figur 52. Elanvändning i bostäder och service m.m., TWh.

El för uppvärmning har diskuterats i föregående avsnitt och beror på konkurrenskraften mellan främst värmepumpar, direktverkande el och fjärrvärme.

Användning av hushålls- och fastighetsel påverkas av två motsatta trender. Den första är att utvecklingen regleras av Ekodesigndirektivet⁶⁵ som går mot hårdare krav på mer effektiva installationer och apparater. Den andra trenden är att innehavet av apparater och installationer som kräver el ökar. För hushåll gäller det speciellt hemelektronik som TV, datorer och kringutrustning. De två trenderna antas ta ut varandra och elanvändningen per kvadratmeter sätts konstant från 2022. Den totala användningen av hushållsel och fastighetsel i bostäder och lokaler ökar i alla scenarier i takt med att det byggs fler bostäder och lokaler.

I *Globalt miljöperspektiv* och *Internationell tillväxt* antas det byggas fler bostäder jämfört med de övriga scenarierna på grund av högre ekonomisk tillväxt.

El till arbetsmaskiner ökar även i de olika scenarierna på grund av elektrifiering av arbetsmaskiner. I *Globalt miljöperspektiv* och *Internationell tillväxt* elektrifieras arbetsmaskiner inom hushåll och service i högre utsträckning jämfört med de övriga scenarierna.

El till datacenter står för den största ökningen. Datacenter växer idag kraftigt till följd av en ökad digitalisering i samhället och att allt fler internationella företag ser fördelar med att bygga datacenter i Sverige. Läs mer om utvecklingen för datacenter och antaganden i Bilaga B – Metodbilaga. Elanvändningen för datacenter ökar som mest i *Internationell tillväxt* som präglas av globalt samarbete, frihandel, teknisk innovation och expansiv industri. Här finns det även god tillgång på el. Detta leder till att behovet av datacenter ökar samtidigt

⁶⁵ EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS DIREKTIV 2009/125/EG av den 21 oktober 2009 om upprättande av en ram för att fastställa krav på ekodesign för energirelaterade produkter.

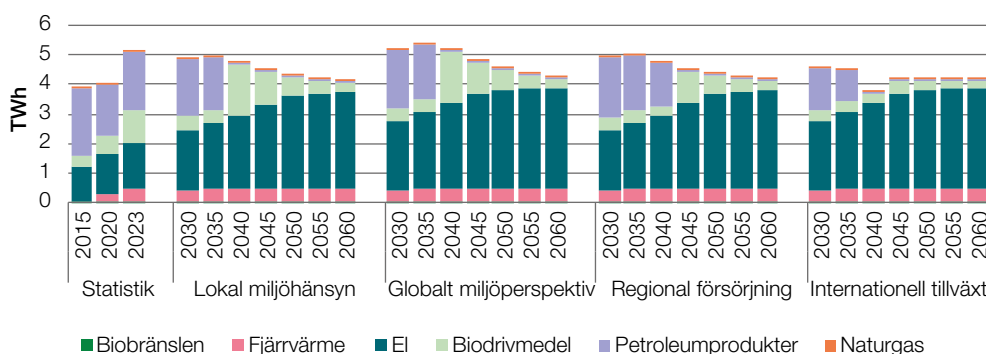
som fler internationella företag ser fördelar med att etablera sig i Sverige. Globalt samarbete gynnar även teknikutveckling och ekonomisk tillväxt, vilket gör att det även etableras många datacenter i *Globalt miljöperspektiv*.

I *Lokal miljöhänsyn* och *Regional försörjning* är samarbetet med omvärlden begränsad. Fokus ligger på nationell självförsörjning och med begränsade möjligheter att öka energiproduktionen blir det svårare för datacenter att etablera sig i Sverige. Behovet av datahantering finns inte i samma omfattning i de övriga scenarierna.

A.2.4 De areella näringarna

I de areella näringarna ingår jordbruk, skogsbruk och fiske. Inom dessa näringar används arbetsmaskiner i stor utsträckning. Arbetsmaskinerna behandlas i mer detalj i avsnitt A.2.6.

Jordbrukets energianvändning minskar i alla scenarier, vilket beror på en produktionsminskning av både grödor och kött, se Bilaga B – Metodbilaga. Produktionen från grödor och kött baseras på Jordbruksverkets scenarier.⁶⁶ Det sker även en liten minskning på grund av elektrifiering av arbetsmaskiner.



Figur 53. Energianvändning i jordbruk för de olika scenarierna, TWh.

Skogsbrukets energianvändning ändras lite beroende på scenario. Utvecklingen på skogsbruket i de olika scenarierna grundar sig på Skogsstyrelsens skogliga konsekvensanalyser från 2022.⁶⁷ Skillnaden mellan scenarierna är att i *Regional försörjning* och *Internationell tillväxt* ökar tillväxten mer och uttaget från skogen är högre jämfört med övriga scenarier. I scenarierna *Lokal miljöanpassning* och *Globalt miljöperspektiv* är det mer fokus på biologisk mångfald och naturvård, vilket innebär att uttaget från skogen blir mer begränsat. En liten skillnad beror också på elektrifieringstakten.

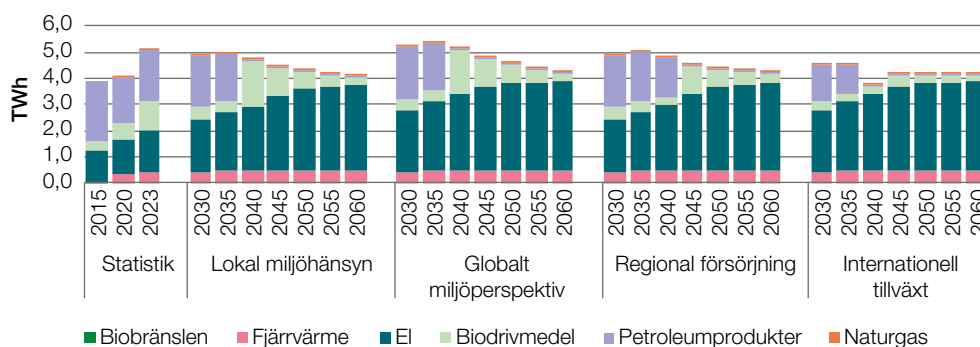
Fiskesektors energianvändning är en väldigt liten del av sektorns energianvändning. Energianvändningen antas vara konstant under hela prognosperioden för alla scenarier.

⁶⁶ Mejlkontakt med Per Bodin på Jordbruksverket, 2022-09-23

⁶⁷ Skogsstyrelsen, Skogliga konsekvensanalyser, <https://www.skogsstyrelsen.se/mer-om-skog/skogliga-konsekvensanalyser/> (2024-11-27)

A.2.5 Byggsektorn

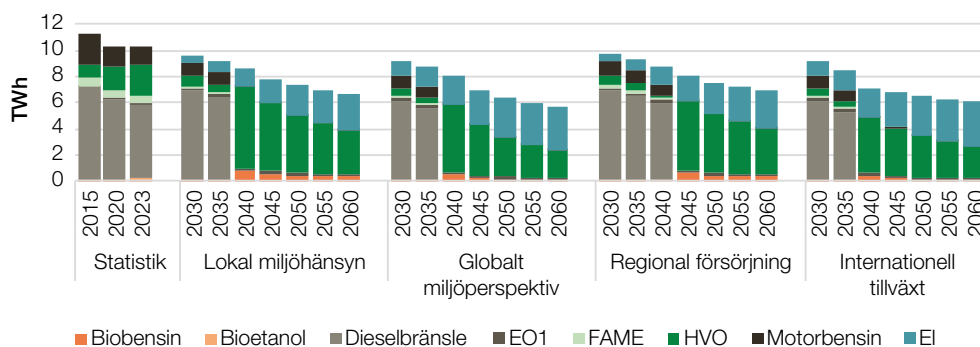
Energianvändningen inom byggsektorn minskar i samtliga scenarier och det sker främst på grund av att en stor andel av arbetsmaskinerna antas kunna elektrifieras, se Bilaga B – Metodbilaga.



Figur 54. Energianvändning i byggsektorn för de olika scenarierna, TWh.

A.2.6 Arbetsmaskiner inom bostäder och service m.m.

Arbetsmaskiner används i samtliga delsektorer i bostäder och service m.m., men det är framför allt i de areella näringarna och byggsektorn där de utgör den största delen. Energianvändningen för arbetsmaskiner minskar i samtliga scenarier. Detta grundar sig främst på att det sker en elektrifiering av arbetsmaskiner. Vidare sker också en övergång från fossil diesel och bensin till biodiesel och biobensin. Denna övergång som sker i samtliga delsektorer beror på att användningen av fossila drivmedel till arbetsmaskiner och utsläppen från dessa inkluderas i utsläppshandelssystemet ETS 2. Det gör att det blir mer lönsamt att använda biodrivmedel i stället. Figur 55 visar energianvändningen per energibärare för alla delsektorer i de olika scenarierna.



Figur 55. Energianvändning för arbetsmaskiner inom bostäder och service för de olika scenarierna, TWh.

I scenarierna *Globalt miljöperspektiv* och *Internationell tillväxt* elektrifieras arbetsmaskiner i större utsträckning jämfört med *Lokal miljöhänsyn* och *Regional försörjning*. Elektrifieringen sker också i olika takt i delsektorena. Där det förutsätts gå snabbast är inom hushållssektorn och byggsektorn och där det kommer att ta längst tid är inom skogsbruket och vissa delar av jordbruket. De olika antagna elektrifieringstakterna framgår i Bilaga B – Metodbilaga.

Elmotorer är mycket mer energieffektiva än förbränningsmotorer. I förbränningsmotorer blir den övervägande delen av den tillförda energin värme som måste kylas bort. Elektrifieringen medför därför en betydande energieffektivisering.

Fossil diesel och motorbensin till arbetsmaskiner minskar kraftigt 2040 i *Lokal miljöhänsyn*, *Globalt miljöperspektiv* och *Internationell tillväxt*. I *Regional försörjning* minskar fossila drivmedel 2045. De fossila drivmedlen ersätts av HVO, biobensin och el. Små mängder fossila drivmedel finns kvar i slutet av scenarioperioden, exempelvis finns en liten mängd diesel finns kvar inom fiskesektorn.

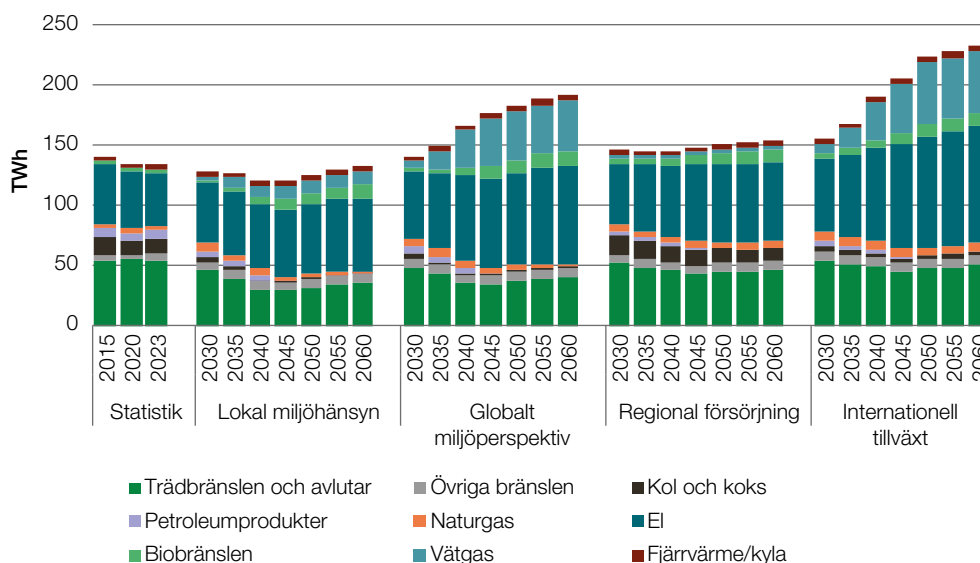
A.3 Industrisektorn

Resultat i korthet

- Elanvändningen ökar i alla scenarier, men olika mycket. Den totala användningen styrs av projektspecifika antaganden och drivs främst av ökat vätgasbehov inom stålindustrin.
- Användningen av fossila bränslen minskar medan användningen av fossilfria bränslen ökar. Takten och volymen beror på priset på utsläppsrätter.
- Koldioxidinfångning är ett kostnadseffektivt sätt att minska utsläpp från fossila bränslen. Industrier som har tillgång till tekniker för infångning av koldioxid använder det i stället för att byta till fossilfria insatsvaror och energibärare om möjligheten ges.

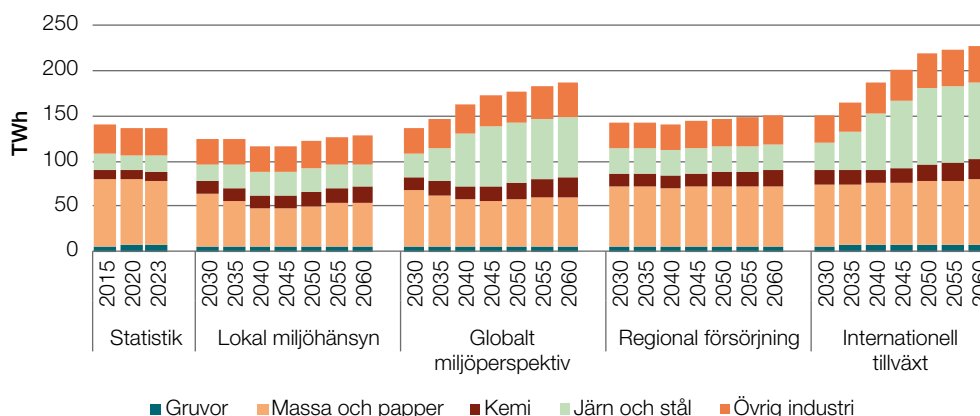
Industrins slutliga energianvändning är till stor del styrd av ingående antaganden som framför allt berör användningen av vätgas, el och fossila bränslen. Att antagandena får stor inverkan på resultatet beror dels på att användningen styrs av projektspecifika antaganden för aktörer med hög energianvändning, dels på att möjligheten att byta mellan el och bränslen är begränsad i TIMES-Nordic.

Generellt ses en trend med ökad användning av el, förnybara bränslen och vätgas, medan användningen av trädbränslen och fossila bränslen minskar. Trots att trenderna är liknande mellan scenarierna visar de på olika resultat, där den totala energianvändningen minskar i Lokal miljönytta, ökar marginellt i Regional försörjning, ökar i Globalt miljöperspektiv, och ökar markant i Internationell tillväxt (Figur 56).



Figur 56. Slutanvändning av energi i industrin 2015, 2020 och 2023, samt 2030–2060 i scenarierna, TWh.

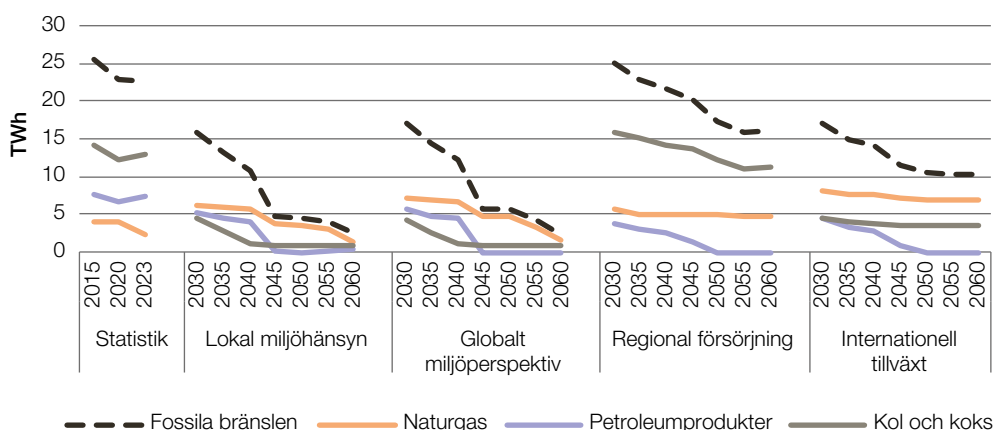
Industrins energianvändning fördelat på bransch ser olika ut beroende på scenario (Figur 57). Den antagna utvecklingen av järn- och stålindustrins samt gruvindustrins produktion av vätgasbaserad järnsvamp och stålprodukter skiljer sig mycket mellan scenarierna och präglar industrins totala energianvändning. För framför allt järn- och stålindustrin ses energianvändningen öka i samtliga scenarier, men mest i *Globalt miljöperspektiv* och *Internationell tillväxt*. Även skogsindustrierna, som historiskt varit den största energianvändaren inom industrin, har stort inflytande på resultatet. Skogsindustrins energianvändning förblir i det närmsta konstant i *Regional försörjning* och *Internationell tillväxt* medan den minskar i *Lokal miljöhänsyn* och *Globalt miljöperspektiv*. Minskningen sker till följd av mer tilltagna antaganden för effektivisering och på grund av lägre produktion, och är den främsta anledningen till att industrins totala energianvändning minskar fram mot 2060 i *Lokal miljöhänsyn*. Övriga sektorer följer BNP-utvecklingen och ökar därmed mer i *Globalt miljöperspektiv* och *Internationell tillväxt* än i *Lokal miljöhänsyn* och *Regional försörjning*.



Figur 57. Total slutanvändning per sektor inom industrin 2015, 2020 och 2023 samt för scenarierna 2030–2060, TWh.

Fossila bränslen minskar

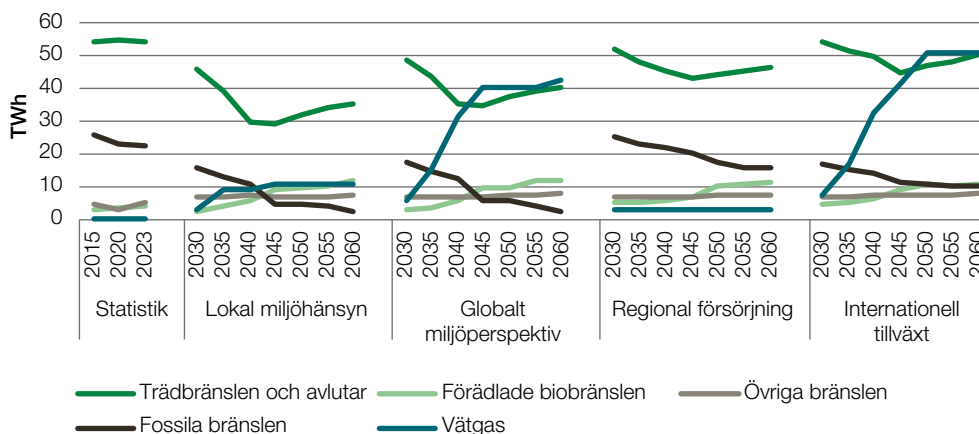
Det sker en minskning i användandet av fossila bränslen i samtliga scenarier (Figur 58). Detta är både en följd av antaganden kring aviserade projekt och en effekt av det ökande utsläppspriset (EU ETS). I scenarier med högre utsläppspriser (*Lokal miljöhänsyn* och *Globalt miljöperspektiv*) sker utfasningen av fossila bränslen snabbare än i scenarier med lägre utsläppspriser (*Regional försörjning* och *Internationell tillväxt*). Den högsta användningen av fossila bränslen återfinns i *Regional försörjning*. I det scenariot antogs valet av tillverkningsmetod för befintlig masugnsbaserad stålproduktion vara fritt, vilket leder till en fortsatt användning av kol och koks i masugnar försedda med CCS efter 2030 och förklarar varför användningen av fossila bränslen är högst i *Regional försörjning*.



Figur 58. Slutanvändning av fossila bränslen 2015, 2020 och 2023, samt 2030–2060 i scenarierna, TWh.

För de fossila bränslena ses olika trender beroende på vilket bränsle som avses. Användningen av petroleumprodukter minskar i samtliga scenarier för att fasas ut helt runt 2045 (*Lokal miljöhänsyn* och *Globalt miljöperspektiv*) eller 2050 (*Regional försörjning* och *Internationell tillväxt*). Bortsett från användningen av kol och koks i järn- och stålindustrin (snabb utfasning runt 2030 i samtliga scenarier förutom *Regional försörjning*) ser användandet av kol- och koks och naturgas liknade trender. I *Lokal miljöhänsyn* och *Globalt miljöperspektiv* med högre utsläppspriser minskar användningen av både naturgas och kol och koks från 2030 till 2050-talet, där kol och koks avtar snabbare. I *Regional försörjning* och *Internationell tillväxt* hålls nivåerna av naturgas och kol och koks ganska stabilt efter 2030. Naturgas och kol och koks används i sektorer med möjlighet att använda koldioxidinfångning, vilket ökar möjligheten att använda fossila bränslen trots höga koldioxidpriser och förklarar trenderna i resultaten.

I takt med att de fossila bränslena minskar sker en successiv ökning av förädlade biobränslen och vätgas (Figur 59). Vätgasen används nästan uteslutande inom järn- och stålindustrin, där den främst ersätter kol och koks. I samtliga scenarier förutom *Regional försörjning* antas nuvarande kol- och koksbase ställa om till vätgasbaserad produktion av järnsvamp efter 2030. I *Global miljönytta* och *Internationell tillväxt* antas dessutom att den högre globaliseringen ger ökade produktionsvolymerna av järnsvamp. Den största ökningen av produktionsvolymerna sker i *Internationell tillväxt*, vilket driver på vätgasanvändningen. I sektorer utan möjlighet att använda CCS eller möjlighet till elektrifiering ersätts de fossila bränslena i stor utsträckning av förädlade biobränslen, särskilt i scenarier med höga koldioxidpriser.



Figur 59. Slutanvändning av bränslen 2015, 2020 och 2023, samt 2030–2060 i scenarierna, TWh.

Användningen av trädbränslen minskar i samtliga scenarier. Det är användningen av skogsflis som minskar medan användningen av avlutar följer produktionen inom skogsindustrin och därmed hålls relativt konstant (något minskande i *Lokal miljöhänsyn* och *Globalt miljöperspektiv*, något ökande i *Regional försörjning* och *Internationell tillväxt*). Minskningen i användningen av skogsflis sker dels till följd av en antagen effektivisering inom skogsindustrin, med aggressivare effektiviseringsantaganden i *Lokal miljöhänsyn* och *Globalt miljöperspektiv*, dels av att trädbränslen ersätts av el sett över hela industrin. Användningen av trädbränslen minskar ytterligare i *Lokal miljöhänsyn* och *Globalt miljöperspektiv* på grund av minskad aktivitet inom skogsbruket, vilket begränsar skogsindustrins produktion och därmed dess energibehov. Trenden drivs på av de ökande priserna på trädbränslen, där den frigjorda mängden trädbränslen från industrin används som råvara för att producera förädlade biobränslen. Fram mot mitten av 2040-talet består användningen av trädbränslen inom industrin nästan uteslutande av avlutar.

Användningen av övriga bränslen hålls relativt konstant i samtliga scenarier. Övriga bränslen används främst inom kemiindustrin, där en stor del utgörs av restgaser. Restgaserna är en biprodukt från processandet av insatsvaror och ses som ett fossilt bränsle om insatsvaran är fossil. Insatsvarans ursprung, som klassas som användning för icke energiändamål i statistik, styrs av antaganden inom kemiindustrin. I *Lokal miljöhänsyn* och *Globalt miljöperspektiv* antas en minskande andel fossila bränslen för icke energiändamål som ersätts av förnybara bränslen. I *Regional försörjning* och *Internationell tillväxt* styr marknadspriserna valet av bränsle, vilket leder till en hög andel fossila bränslen används för icke energiändamål. Användandet av fossila bränslen för icke energiändamål leder också till en ökad användning av CCS i kemiindustrin, då andelen övriga bränslen som är fossila ökar.

Koldioxidinfångning är kostnadseffektivt

Generellt visar modellresultaten på att CCS är en kostnadseffektiv lösning för att minska koldioxidutsläppen om möjligheten finns givet de antaganden som görs i modellen. För branscher där inga andra alternativ för utsläppsminskning har identifierats, såsom för cementindustrin, oljeraffinaderier och avfallsförbränning, används alltid CCS för att minimera kostnaden av att släppa ut fossil koldioxid när koldioxidpriset är tillräckligt högt. Koldioxidpriserna gör att det sker en betydande användning av koldioxidinfångning redan 2035 i *Lokal miljöhänsyn* och *Globalt miljöperspektiv*. De lägre koldioxidpriserna i *Regional försörjning* och *Internationell tillväxt* gör att koldioxidinfångning används i större utsträckning först runt 2045, med undantag för stålindustrin i *Regional försörjning*, där nuvarande masugnar antas nå slutet på sin livslängd 2030–2035 och därför ersätts av CCS redan 2030–2035.

Den kostnadseffektivitet som CCS-lösningarna indikerar i scenarierna visar på att det generellt krävs en betalningsvilja för fossilfria material hos kunder för att fossila bränslen ska ersättas inom industrin. Resultatet är dock känsligt för framtida kostnadsutvecklingar för både bränslen och teknik.

Elanvändningen ökar

Elanvändningen ökar i samtliga scenarier men med stora variationer mellan scenarierna, särskild om elanvändningen för produktion av vätgas inkluderas i analysen. Industrins elanvändning (inklusive el till elektrolysörer) uppgår till runt 85–90 TWh år 2050 i *Lokal miljöhänsyn* och *Regional försörjning*, 160 TWh i *Globalt miljöperspektiv* och 190 TWh i *Internationell tillväxt*. Det är främst den antagna utvecklingen inom stålindustrin, och specifikt antaganden om volymer vätgasbaserad järnsvamp, som ligger bakom de stora skillnaderna i elanvändning.

Elanvändningen ökar också till följd av den ekonomiska utvecklingen, med en kraftigare ökning i *Globalt miljöperspektiv* och *Internationell tillväxt* då BNP-tillväxten antas vara högre i dessa scenarier. Dessutom sker en elektrifiering av industrin, där framför allt ökande kostnader för trädbänslen leder till att dessa ersätts av el där det är möjligt i modellen, vilket sker i större utsträckning i *Lokal miljöhänsyn* och *Globalt miljöperspektiv* där tillgången på biomassa är begränsad.

Oljeraffinaderierna fasas ut i olika takt

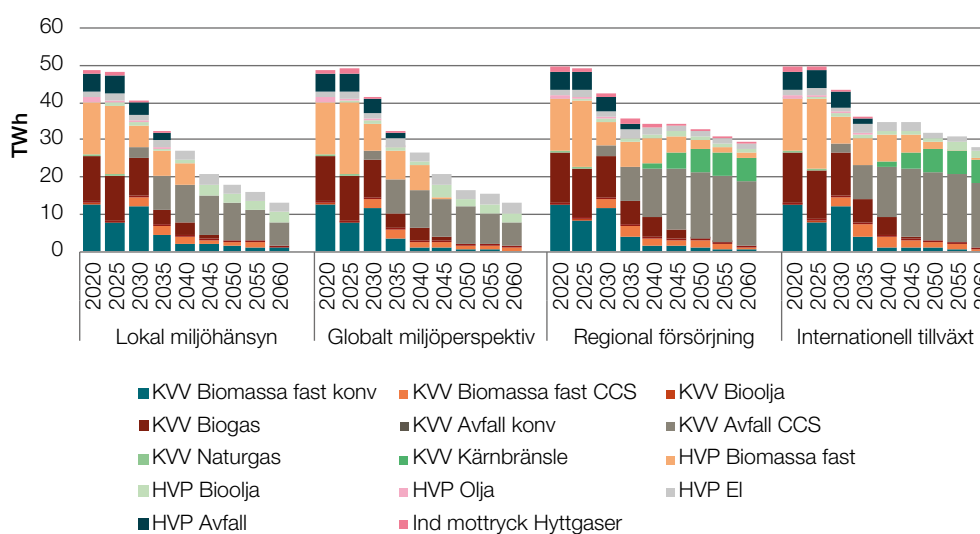
Utöver användningen av fossila bränslen inom industrin används även fossila bränslen av oljeraffinaderier. Användningen av flytande och gasformiga fossila bränslen, framför allt LPG, styrs av antaganden för oljeraffinaderiernas fortsatta utveckling. I scenarierna *Regional försörjning* och *Internationell tillväxt* sker utfasningen långsamt, vilket resulterar i en kvarvarande mängd på ungefär 5 TWh fossila bränslen i slutet av scenarioperioden för vardera scenario. I *Lokal miljöhänsyn* och *Globalt miljöperspektiv* minskar produktionen snabbt. I dessa scenarier har oljeraffinaderiernas verksamhet upphört från och med 2045, medan de i övriga scenarier drygt halverar energianvändningen på grund av minskad produktion mot slutet av scenarioperioden. De utsläpp som finns kvar reduceras med koldioxidinfångning (CCS) i samtliga scenarier, lite tidigare i scenarierna *Globalt miljöperspektiv* och *Lokal miljöhänsyn* där priserna på utsläppsätter är högre.

A.4 Fjärrvärmeproduktion

I huvudrapporten redogjordes för fjärrvärmens övergripande utveckling i de utforskande scenarierna. I bilagorna visas ytterligare (eller kompletterande) scenariorresultat med fokus på förbränningsbaserad produktion av fjärrvärme i kraftvärmeverk och värmeverk (hetvattenpannor). Dessutom redovisas marginalkostnaden för fjärrvärmeproduktion och priset på skogsflis som indikation på fjärrvärmens kostnadsbild, det vill säga dyrare fjärrvärmeproduktion. Både marginalkostnaden och priset på skogsflis är scenariorresultat som styrs av balansen mellan utbud och efterfrågan på fjärrvärme respektive biobränslen i modellen.

A.4.1 Avfallskraftvärme med koldioxidavskiljning en bas i förbränningsbaserad fjärrvärmeproduktion

I Figur 60 framgår att förbränningsbaserad fjärrvärmeproduktion från kraftvärmeverk och hetvattenpannor minskar avsevärt till slutet av scenarioperioden jämfört med typiska normalårsutfall. Biobränslen (exempelvis skogsflis med olika slag av träbränslen, biogas, bioolja) och avfall (biogent, fossilt) som eldas i konventionella produktionsanläggningar är till en början två helt dominerande energislag. Efter 2030 sker en förskjutning mot kraftvärme med infångning och lagring av koldioxid (CCS) i samtliga scenarier, framför allt sker det ett genomslag för avfallsförbränning. Från och med 2040 dominerar avfallskraftvärmen med CCS den förbränningsbaserade fjärrvärmeproduktionen medan den konventionella avfallsförbränningen så småningom fasas ut, både i kraftvärmeverk och hetvattenpannor.



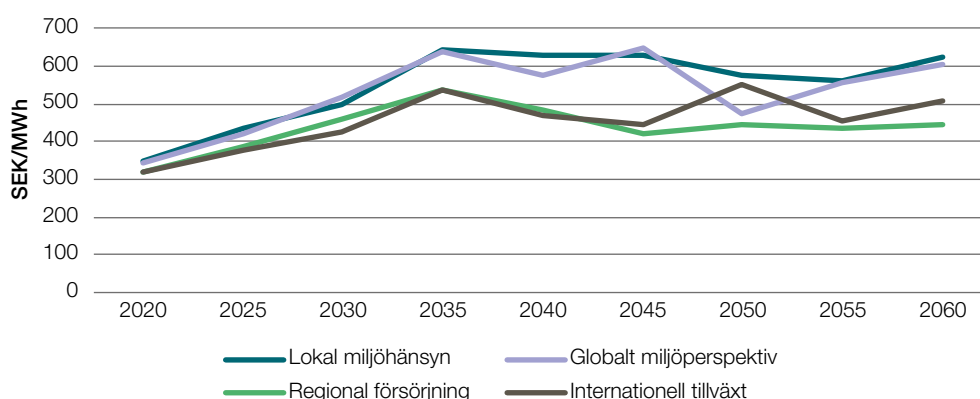
Figur 60. Insatt bränsle för förbränningsbaserad fjärrvärmeproduktion i kraftvärmeverk (KVV) och hetvattenpanna (HVP). År 2020 och 2025 är typiska normalårsutfall i modellen, TWh.

Högre utsläppsriktpriser inom EU ETS som ökar kostnaderna för fossila koldioxidutsläpp och en viss efterfrågan på negativa utsläpp är faktorer som driver investeringar i (nya) produktionsanläggningar med CCS. De redan låga fossila koldioxidutsläppen från fjärrvärmeproduktionen sjunker därmed ytterligare och blir negativa efter 2030 till följd av avskiljning av biogena utsläpp från kraftvärmeverk baserade på biobränslen och avfall. Även utvecklingen i det brännbara avfallets sammansättning, det vill säga att biogen andel ökar och fossila fraktioner med framför allt plast minskar, bidrar till en reduktion av fjärrvärmesektorns fossila koldioxidutsläpp.

Noterbart är också att bioolja och naturgas som insatt bränsle i kraftvärmeverk (KVV Biomassa flytande; KVV Naturgas) fasas ut efter 2025, att bioolja ersätter den fossila spetslastproduktionen (HVP Olja) i hetvattenpannor efter 2035, och att hyttgaser (med koks- och masugnsgas) förekommer efter 2035 endast i *Regional försörjning* vilket är direkt kopplat till industrins omställning.

A.4.2 Marginalkostnaden och skogsflispriset som indikation på kostnadsbilden

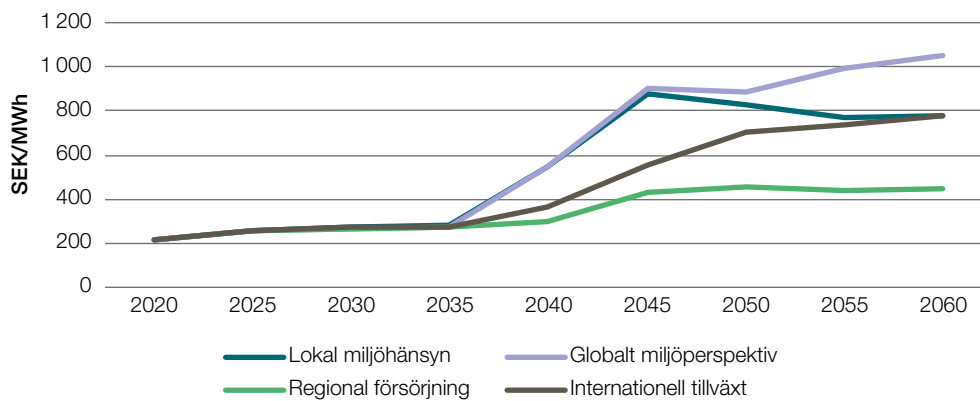
Marginalkostnadsbilden i Figur 61 ger en övergripande bild av fjärrvärmesektorns kostnadsutveckling i produktionsledet. Som Figur 61 visar stiger den beräknade marginalkostnaden för fjärrvärmeproduktion i samtliga scenarier jämfört med ett typiskt normalårsutfall. *Lokal miljöhänsyn* ligger högst i marginalkostnadsbilden på grund av en relativt begränsad tillgång till bioråvara för energiändamål samt en minskad mängd brännbart avfall. Samma förutsättning gäller även för *Globalt miljöperspektiv*, dock är elpriserna här generellt något lägre jämfört med *Lokal miljöhänsyn*, vilket gynnar en fjärrvärmeproduktion med eldrivna värmepumpar som minskar marginalkostnaden något. Lägsta marginalkostnaderna förekommer i *Regional försörjning* eftersom scenariot förutsätter relativt god tillgång till biobränslen, brännbart avfall och möjligheten att utnyttja kärnkraftsvärme om det är lönsamt.



Figur 61. Marginalkostnaden för fjärrvärmeproduktion som årligt medelvärde (effektvägd i produktionsledet) för typiskt normalårsutfall (2020–2025) och för scenarierna (2030–2060), TWh.

Det kan nämnas att framtagna modellresultatet visar marginalkostnaden för fjärrvärmeproduktion som ett årligt medelvärde för ett aggregerat fjärrvärmesystem. Marginalkostnaden varierar vanligtvis under ett år med höga kostnader under vintern (dyrare bränslen för ökat värmebehov) och relativt låga kostnader under sommaren (basproduktion med lågt bränslepris och minskat värmebehov). Dessutom beror marginalkostnaden till stor del på lokala förutsättningar, såsom uppvärmningsmarknad och efterfrågan, tillgängliga produktionsanläggningar och pris på tillförd energi. För ett enskilt fjärrvärmesystem kan marginalkostnaden därför se olika ut i olika delar av Sverige.

Priset på skogsflis är en viktig komponent i fjärrvärmeproduktionens marginalkostnadsbild (där stigande priser driver upp kostnaden). Priset på skogsflis, som visas i Figur 62 som modellresultat, växer kraftigt i *Lokal miljöhänsyn*, *Globalt miljöperspektiv* och *Internationell tillväxt*, vilket beror på begränsad tillgång samtidigt som konkurrens om och efterfrågan på skogsflis växer. Det är framför allt transportsektorns växande efterfrågan på biobränslen, såväl för inhemska drivmedel som för internationell sjöfart och luftfart samt drivmedelsexport, som har en avgörande inverkan på prisbilden. Lägst prisnivåutveckling sker i *Regional försörjning* eftersom det finns en god tillgång till skogsråvara i kombination med en begränsad internationell handel av biobränslen, vilket leder till de lägsta priserna av skogsflis. I takt med att biobränslen kraftigt minskar sin andel i fjärrvärmeproduktionsmixen får dock priset på biobränsle och i synnerhet skogsflis en allt mindre direkt betydelse för fjärrvärmeproduktions marginalkostnad.



Figur 62. Priset på skogsflis för typiskt normalårsutfall (2020–2025) och för scenarierna (2030–2060), TWh.

Bilaga B – Metodbilaga

Bilaga B – Metodbilaga beskriver hur förutsättningarna för de olika scenarierna tagits fram samt de ingående parametrarna till energisystemsmodelleringen. Metodbilagan avser både de utforskande scenarierna som redovisas i huvudrapporten, Bilaga A – Resultatbilaga och Bilaga C – Scenarioreultat för Beslutad policy.

B.1 Generella förutsättningar

Energimyndighetens scenario Beslutad policy utgår ifrån att beslutade energi- och klimatpolitiska styrmedel i Sverige (till och med budgetpropositionen 2024/25:1), gäller för hela scenarioperioden. Detta gäller även för styrmedel på unionsnivå som utsläppshandels-systemet (EU ETS och ETS 2) samt regleringar som FuelEU Maritime⁶⁸ och RefuelEU Aviation.⁶⁹ Prisbanorna för utsläppsrättspriser i ETS 1 och ETS 2 erhålls tillsammans med vissa energipriser från EU-kommissionen inför arbetet med klimatrapporteringen och anges exogent i modellen.

De utforskande scenarierna görs med utgångspunkt i samma antaganden men med avvikelser som ska vara förenliga med de scenariorättelser som beskrivs i huvudrapporten, se översikt över utvalda antaganden för scenarierna i Tabell 2. I följande avsnitt i bilagan redovisas sedan antaganden för de olika sektorerna.

Tabell 2. Översikt över utvalda antaganden för scenarierna.

Scenario	Lokal miljöhänsyn	Globalt miljöperspektiv	Regional försörjning	Internationell tillväxt
Nationellt				
Skattebefrielse höginblandade biodrivmedel	Hela scenarioperioden	Till och med 2026	Hela scenarioperioden	Till och med 2026
Biomassauttag skogsbruk	Lägst (Fokus mångfald)	Lägre (50 % Fokus mångfald)	Något högre (Klimat-anpassning)	Högre (Fokus tillväxt)
Solkraft på jordbruksmark	Begränsad	Begränsad	Obegränsad	Obegränsad
Kärnkraft	Drifftidsförlängning tillåtet, ny kärnkraft ej tillåtet	Drifftidsförlängning tillåtet, ny kärnkraft på befintliga platser, max 8,4 GW	Obegränsad	Obegränsad

⁶⁸ EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS FÖRORDNING (EU) 2023/1805 av den 13 september 2023 om användning av förnybara och koldioxidsnåla bränslen för sjötransport och om ändring av direktiv 2009/16/EG (FuelEU Maritime).

⁶⁹ EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS FÖRORDNING (EU) 2023/2405 av den 18 oktober 2023 om säkerställande av lika villkor för hållbar lufttransport (ReFuelEU Aviation).

Scenario	Lokal miljöhänsyn	Globalt miljöperspektiv	Regional försörjning	Internationell tillväxt
Små modulära reaktorer och kärnvärme från kärnkraft	Ej tillåtet	Ej tillåtet	Tillåtet	Tillåtet
Utbyggnad transmissionskapacitet	Ej tillåtet	Tillåtet med begränsad potential	Lägre potential	Högre potential
Avdrag för mikroproduktion av el	Inkluderat	Ej inkluderat	Ej inkluderat	Ej inkluderat
Realiserbar potential land-baserad vindkraft	70 TWh	100 TWh	165 TWh	200 TWh
Realiserbar potential havs-baserad vindkraft	120 TWh	180 TWh	150 TWh	240 TWh
Trafikarbete	Ökad användning av kollektivtrafik, minskade godstransporter	Ökad användning av kollektivtrafik, ökade godstransporter	TRV Basprognos ⁷⁰	Ökade godstransporter
EU				
EPBD ⁷¹	Inkluderat	Inkluderat	Ej inkluderat	Ej inkluderat
EU ETS	Högre (WAM ⁷²)	Högre (WAM)	WEM ⁷³	WEM
ETS 2	Högre (WAM)	Högre (WAM)	WEM	WEM
ReFuelEU Aviation och FuelEU Maritime	Inkluderade	Inkluderade	Inkluderade	Inkluderade
EU:s utsläppskrav på lätta fordon ⁷⁴	Inkluderat	Inkluderat	Inkluderat	Inkluderat

I enlighet med styrningsförordningen⁷⁵ ska vi denna gång ta fram scenarier med nedslag var femte år och till och med 2055. Vi har modellerat fram resultat till och med 2060. Utifrån den fokusfråga vi har för de utforskande scenarierna analyserar vi huvudsakligen resultaten till 2050.

⁷⁰ Trafikverkets basprognos 2024 för trafikarbetet på svenska vägar, se Trafikverket (2024).

⁷¹ I enlighet med *Underlag till genomförande av artikel 25.1–25.5 i direktivet om energieffektivitet*, ER2024:24

⁷² WAM = With additional measures. Högre priser på utsläppsrätter enligt EU-kommissionen.

⁷³ WEM = With existing measures. EU-kommissionens rekommenderade prisbana.

⁷⁴ EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS FÖRORDNING (EU) 2019/631 av den 17 april 2019 om fastställande av normer för koldioxidutsläpp för nya personbilar och för nya lätta nyttofordon och om upphävande av förordningarna (EG) nr 443/2009 och (EU) nr 510/2011 (omarbetning).

⁷⁵ Europaparlamentets och rådets förordning (EU) 2018/1999 av den 11 december 2018 om styrningen av energiunionen och av klimatåtgärder samt om ändring av Europaparlamentets och rådets förordningar (EG) nr 663/2009 och (EG) nr 715/2009, Europaparlamentets och rådets direktiv 94/22/EG, 98/70/EG, 2009/31/EG, 2009/73/EG, 2010/31/EU, 2012/27/EU och 2013/30/EU samt rådets direktiv 2009/119/EG och (EU) 2015/652 och om upphävande av Europaparlamentets och rådets förordning (EU) nr 525/2013

Det är viktigt att lyfta fram att osäkerheten om framtiden är väldigt stor även på kort sikt, det gäller såväl olika nivåer som när i tiden en viss utveckling sker. Det innebär att något som infaller 2035 lika gärna kan ske till 2030 eller 2040 beroende på vad som avses. Därför är det viktigt att inte fokusera på resultat för enskilda nedslagsår eller exakta nivåer av ett visst produktionsslag utan i stället betrakta hur utvecklingen ser ut över tid och under vilka antaganden den sker. På ännu längre sikt till 2050–2060 blir detta ännu viktigare eftersom osäkerheten i många fall är betydligt större då.

Basåret för scenarierna är 2022 som var det sista statistikår vi hade att tillgå när arbetet med scenarierna påbörjades.

B.1.1 Ekonomisk utveckling

Konjunkturinstitutet har tagit fram ett basscenario (*Beslutad policy*) och två känslighetsfall (*Högre BNP* och *Högre ETS*) över den ekonomiska utvecklingen med hjälp av sin ekonomiska jämviktsmodell EMEC⁷⁶. Scenariot med tillhörande känslighetsfall sträcker sig till 2055. BNP-utvecklingen för de olika scenarierna redovisas i Tabell 3. Mer om basscenarioet går att läsa i konjunkturinstitutets rapport som finns publicerad på deras hemsida⁷⁷.

Tabell 3. BNP, fasta priser, årlig procentuell förändring i scenariot med *Beslutad policy*, *Högre BNP* och *Högre ETS*.

	1993–2023	2024–2030	2031–2040	2041–2055
Beslutad policy	2,5	2,2	1,7	1,6
Högre BNP	2,5	2,6	2,2	2,2
Högre ETS	2,5	2,1	1,7	1,6

Källa: Konjunkturinstitutet, EMEC.

I känslighetsfallet *Högre BNP* antar KI att produktivitetstillväxten blir högre än i *Beslutad policy*. Detta modelleras genom att produktivitetstillväxten är högre i alla näringslivs-branscher i förhållande till *Beslutad policy*. Övriga modellantaganden i EMEC antas vara desamma som i *Beslutad policy*.

För de utforskande scenarierna används den ekonomiska utvecklingen i *Beslutad policy* som underlag till *Lokal miljöhänsyn* och *Regional försörjning* och *Högre BNP* används som underlag till *Globalt miljöperspektiv* och *Internationell tillväxt*.

B.1.2 Bränslepriser och pris på utsläppsrätter (EU ETS och ETS 2)

Antagande om prisutvecklingen för utsläppsrätter och bränslepriser är framtagna av EU-kommissionen och redovisas i Tabell 4. I scenarierna *Beslutad policy*, *Högre BNP*, *Regional försörjning* och *Internationell tillväxt* användes de lägre WEM-priserna för utsläppsrätter. I scenarierna *Högre ETS*, *Lokal miljöhänsyn* och *Globalt miljöperspektiv* användes de högre WAM-priserna för utsläppsrätter. För fossila bränslen (naturgas, kol och olja) används samma prisbana för samtliga scenarier.

⁷⁶ Environmental Medium Term Economic Model, se <https://www.konj.se/var-verksamhet/miljoekonomi/emec---en-miljoekonomisk-allmanjamviktsmodell.html> för mer information.

⁷⁷ Långsiktigt scenario för svensk ekonomi till 2055 – Konjunkturinstitutet

Tabell 4. Antagna priser på utsläppsrätter för koldioxid (CO₂) och världsmarknadspriser på bränslen i 2023 års prisnivå.

	2020	2025	2030	2040	2050	2060
Utsläppsrätter för CO ₂ (EU-ETS), EUR/ton CO ₂ . WEM	29	95	95	100	190	220
Utsläppsrätter för CO ₂ , (EU-ETS2) EUR/ton CO ₂ . WEM	-	-	60	100	190	220
Utsläppsrätter för CO ₂ (EU-ETS), EUR/ton CO ₂ . WAM	29	95	95	290	490	520
Utsläppsrätter för CO ₂ , (EU-ETS2) EUR/ton CO ₂ . WAM	-	-	60	290	490	520
Naturgas, Euro/GJ	3,7	9,4	9,0	10,1	9,6	9,6
Kol, Euro/GJ	1,9	4,1	4,0	3,8	4,0	4,0
Råolja, Euro/GJ	7,6	12,4	13,9	15,8	23,8	23,8

Källa: Förutsättningar från EU-kommissionen fram till 2055 och Energimyndighetens antaganden för år 2060.

Anm: WEM är EU-kommissionen priser för "existing measures" och WAM är priser för "additional measures".

B.1.3 Statistikunderlag

Scenarierna utgår i första hand från årlig officiell statistik. Denna kompletteras vid behov av kortperiodisk statistik. Den årliga statistiken utgörs främst av årliga energibalanser och årlig användarstatistik. Den kortperiodiska statistiken omfattar huvudsakligen kvartalsvis bränslestatistik och månadsvis bränsle- och elstatistik. Trots att statistiken som används i scenarierna i huvudsak är densamma som i andra statistikpublikationer, till exempel Energimyndighetens rapport Energiläget eller Energimyndighetens kortsiktsprognoser, kan det finnas mindre skillnader i både bas- och scenarioår. Detta beror på att definitioner av olika energibärare och energiändamål i viss mån skiljer sig åt mellan publikationerna samt att olika metoder används för scenarier och prognoser.

B.2 El- och fjärrvärmeproduktion

Här redovisas de viktigaste övergripande antaganden som används i Energimyndighetens scenarier över Sveriges energisystem 2025. De utgör input till energisystemmodellen TIMES-Nordic.

För att modellera el- och fjärrvärmeproduktion utifrån antagna förutsättningar har modellberäkningar genomförts i energisystemmodellen TIMES-Nordic. Viktigt att notera att detta är en energisystemsmodell som inte bara fokuserar på el- och fjärrvärmeproduktion.

Den modell som har använts inom detta uppdrag är TIMES-Nordic. Det är en energisystemmodell för analys av den långsiktiga utvecklingen från idag till 2060 för hela energisystemet i Sverige. Det innebär att förutom el- och fjärrvärmeförsörjningen så omfattar modellen även energianvändning inom industrin, bostäder, servicesektorn och transportsektorn. Förutom det svenska energisystemet så omfattar modellbeskrivningen även el- och fjärrvärmeförsörjningen i de tre övriga nordiska länderna Norge, Danmark och Finland samt i Tyskland, Polen och de tre baltiska länderna Estland, Lettland och Litauen. Modellverktyget minimerar de totala systemkostnaderna sett över hela beräkningshorisonten givet en omfattande mängd av olika randvillkor som kan vara av teknisk, politisk, ekonomisk, resursmässig eller miljö-

mässig art. Modellen är dessutom dynamisk vilket innebär att investeringar som görs (endogent i beräkningarna) i ett specifikt modellår påverkas av skeendena under föregående och efterföljande modellår.

Utmärkande för TIMES-Nordic, på samma sätt som för andra energisystemmodeller, är den omfattande och detaljerade beskrivningen av de olika tekniska komponenterna i ett energisystem. Det avser både tillförselsidan (exempelvis olika produktionsslag för el, fjärrvärme och förädlade bränslen) och efterfrågesidan (exempelvis olika uppvärmningsalternativ, effektiviseringsåtgärder eller olika industriella processer). Däremellan återfinns också en beskrivning av de olika distributionssystemen (elnät, fjärrvärmenät och gasinfrastruktur) som kopplar samman tillförsel och efterfrågan på energi. Dessutom ingår en beskrivning av både nationella och internationella bränslemarknader.

TIMES-modeller finns spridda över hela världen och är ett resultat av ett mångårigt utvecklingsarbete inom ETSAP (Energy Technology Systems Analysis Program) som är ett teknologisamverkansprogram i IEA:s regi. Mer att läsa om TIMES-metodiken finns på ETSAPs hemsida, www.iea-etsap.org. Den TIMES-modell som avses i denna rapport ägs, hanteras och utvecklas av Profu och beskriver som nämnts det nordiska/nordeuropeiska el- och energisystemet, därav namnet ”TIMES-Nordic”

B.2.1 Elproduktion

Modellverket TIMES-Nordic omfattar en lång rad av olika tekniker för elproduktion, såväl befintliga tekniker som nya tekniker som kan väljas i modellen genom att investeringar sker om det blir lönsamt. De enskilda teknikerna beskrivs med ett antal prestanda- och kostnadsparametrar såsom investeringskostnader, drift- och underhållskostnader, livslängd, verkningsgrader, bränslekostnader (styrs av bränsleval och verkningsgrad), tillgänglighet med mera.

Dataunderlaget är till viss del hämtat från publikt material som den återkommande publikationen *El från nya anläggningar*⁷⁸ men med uppdateringar baserat på egna antaganden. Även andra publika källor som exempelvis *World Energy Outlook* samt *Energy Technology Perspectives* från IEA⁷⁹ används samt antaganden och bedömningar av Profu, Energimyndigheten och branschorganisationer. Utöver kostnads- och teknikrelaterade data kopplas de olika teknikerna i förekommande fall till potentialbegränsningar till följd av exempelvis begränsningar i utbyggnadstakt, kommersialisierungsgrad samt politiskt satta mål och begränsningar.

För resultatet är det viktigt att poängtera att elsystemet under de närmaste 20–30 åren genomgår en omfattande förändring som gör utfallet osäkert. Runt 100 TWh elproduktion når sin ekonomiska livslängd samtidigt som vi ser en potentiellt stor förändring av elanvändning både med avseende på hur el används och hur mycket el som kommer att användas i framtiden. Samtidigt finns en stor potential av vindkraft och solkraft samt en möjlighet till både drifttidsförlängning och nybyggnation av kärnkraft. Det finns därmed ett stort utfallrum och möjliga scenarier beroende på vilka antaganden som görs kring detta. Det bör också påpekas att det svenska elsystemet är starkt beroende av utvecklingen i omvärlden exempelvis elanvändningen i Nordeuropa, utvecklingen av de internationella bränsle- och utsläppsriktpriserna, överföringskapacitet etc.

⁷⁸ *El från nya anläggningar*, Energiforsk, 2021:714, *El från nya anläggningar 2021-714* | (energiforsk.se).

⁷⁹ *World Energy Outlook 2022 – Analysis* – IEA samt *Energy Technology Perspectives 2020 – Analysis* – IEA.

Vattenkraft

För svensk vattenkraft utgår bedömningen från en normalårsproduktion på cirka 67 TWh vilket motsvarar medelvärde av de senaste 20 årens vattenkraftsproduktion. Vidare antas en ökad tillrinning till följd av klimatförändringar som bedöms ge en ökad elproduktion på 2 TWh och baseras på bedömningar av KLIVA-projektets beräkningar för RCP4,5-scenariot.⁸⁰ Vattenkraftens miljöanpassning med nya miljövillkor⁸¹ antas minska produktionen med 1,5 TWh⁸². Sammantaget innebär detta att elproduktionen från vattenkraft ökar med 0,5 TWh under modellperioden.

Potentialen för tillkommande elproduktion i vattenkraftverk genom investeringar antas vara noll. Däremot är det i modellbeskrivningen möjligt att investera i effekthöjning på maximalt 2 GW i befintliga storskaliga stationer.

För Norges del antas en normalårsproduktion på 135 TWh. Till detta läggs ett antagande om ökad tillrinning på 12 TWh under modellperioden vilket återigen baseras på bedömningar utförda inom KLIVA-projektet för RCP4,5-scenariot. I tillägg till detta finns en potential för nyinvesteringar i norsk vattenkraft som uppgår till drygt 10 TWh till 2035, förutsatt att modellen finner dessa investeringar lönsamma. Samma antaganden för vattenkraften gäller i samtliga scenarier.

Kärnkraft

Sex reaktorer är i drift i Sverige (R3–4, F1–3 och O3) från start. Den bedömda livslängden för dessa reaktorer antas vara 60 år från driftstart. Det innebär att befintlig kärnkraft finns tillgänglig fram till 2045 vilket kan ses i Tabell 5. Därefter antas det finnas möjlighet till ytterligare drifttidsförlängning från 60 år till 80 års drifttid för samtliga reaktorer. I modellbeskrivningen modelleras de befintliga sex reaktorerna som separata enheter. Utnyttjandetiden för de befintliga svenska kärnkraftverken antas ligga på typiskt 85–90 procent under scenarioperioden. Utnyttjandetiden för kärnkraften är ett beräkningsresultat på samma sätt som för andra tekniker och beror, förutom tillgängligheten, även på elpriserna under året och om de motiverar drift eller inte.

Tabell 5. Installerad effekt för de befintliga svenska kärnkraftverken utan drifttidsförlängning, GW.

Modellår	2020	2030	2035	2040	2045	2050
Tillgänglig effekt	7,7	6,9	6,9	6,9	2,6	0

Förutom drifttidsförlängningar i de befintliga reaktorerna är investeringar i helt nya reaktorer möjliga, förutsatt att modellen finner det lönsamt, i samtliga scenarier förutom i scenario *Lokal miljöhänsyn*. Potentialen för nyinvesteringar är scenarieroberoende och redovisas i Tabell 6. I två av scenarierna (*Regional försörjning* och *Internationell tillväxt*) är också kärnkraftvärme möjlig och då i form av små, modulära reaktorer (SMR). Dessa antas begränsas till ett fjärrvärmeunderlag motsvarande de större fjärrvärmesystemen i Sverige.

⁸⁰ För mer information om KLIVA, se <https://energiforsk.se/program/klimatforandringarnas-inverkan-pa-vattenkraften/>

⁸¹ Nationell plan för omprövning av vattenkraft – Vattenkraft och arbete i vatten – Havs- och vattenmyndigheten (havochvatten.se).

⁸² Ett nationellt riktvärde på 1,5 TWh har angetts i den Nationella planen och motsvarar vad som, på nationell nivå, kan anses vara betydande negativ påverkan på kraftproduktionen. När och hur ska riktvärdet 1,5 TWh användas? – Nationell plan för omprövning av vattenkraft – Vattenkraft och arbete i vatten – Havs- och vattenmyndigheten (havochvatten.se).

Tabell 6. Maximal potential för ny kärnkraft.

	2035	2040	2045	2050	2055	2060
BP, HBNP, HETS	2,4	4,8	7,2	9,6	12	14,4
Lokal miljöhänsyn	0	0	0	0	0	0
Globalt miljöperspektiv	2,4	4,4	6,4	8,4	8,4	8,4
Regional försörjning	2,4	Obegränsat samt 0,4 GW SMR	Obegränsat samt 0,4 GW SMR	Obegränsat samt 0,4 GW SMR	Obegränsat samt 0,4 GW SMR	Obegränsat samt 0,4 GW SMR
Internationell tillväxt	2,4	Obegränsat samt 0,4 GW SMR	Obegränsat samt 0,4 GW SMR	Obegränsat samt 0,4 GW SMR	Obegränsat samt 0,4 GW SMR	Obegränsat samt 0,4 GW SMR

Anm: BP = Beslutad policy, HBNP = Högre BNP och HETS = Högre ETS

Uppskattade kostnader för ny kärnkraft återfinns i Tabell 7. Med de använda kalkylräntorna, livslängderna (såväl teknisk som ekonomisk livslängd) och antaganden om typiska utnyttjandetider blir den totala produktionskostnaden för ny kärnkraft drygt 60–65 öre/kWh el. I detta ingår även räntekostnader under byggnationen där byggtiden antas uppgå till 5 år. Inget annat kraftslag omfattas av en sådan extra räntekostnad i modellbeskrivningen vilket innebär att de 5 årens byggtid för ny kärnkraft kan betraktas relativt andra konkurrerande kraftslag såsom vindkraft. Generellt går det betydligt snabbare att uppföra exempelvis vindkraft än kärnkraft, åtminstone i västvärlden.

Produktionsskatten består endast av en relativt liten del (som finansierar det framtida slutförvaret, omkring 40 SEK/MWh el för 2022 och 2023). Drifttidsförlängningar antas kosta mellan omkring 7 000–10 000 SEK/kW el⁸³.

Tabell 7. Antagna kostnader för ny kärnkraft (2021 års prisnivå).

Investeringskostnad (SEK/kW el)	Fast D&U ⁸⁴ (SEK/kW el)	Rörlig D&U och bränslekostnad (SEK/MWh el)	Livslängd (år)
60 000	750	100	60

Det är i modellen också möjligt att bygga ny kärnkraft i Finland, Polen och i de tre baltiska staterna om det är lönsamt.

Kostnaderna för kärnkraftvärme antas vara tio procent högre (per eleffekt) än för storskaliga reaktorer för enbart elproduktion men genererar å andra sidan ytterligare nytta i form av fjärrvärme. Om de specifika kostnaderna för SMR-enheter blir dyrare eller billigare än stora konventionella anläggningar återstår att se. Ytterst handlar det om skalfördelar för de storskaliga anläggningarna (som är en betydande faktor i dessa sammanhang) kontra ekonomiska fördelar genom massproduktion som man hoppas på att uppnå genom SMR-tekniken. Eftersom vi antar att dessa anläggningar är av SMR-typ antas dessutom att byggtiden är något kortare än för storskaliga anläggningar.

⁸³ Baserat på uppgifter i Quist (2020), ”Modellering av svensk elförsörjning – Teknisk underlagsrapport”.

⁸⁴ D&U står för Drift- och underhållskostnader.

Inom ramarna för detta arbete har även en serie känslighetsberäkningar för ny kärnkraft genomförts. I känslighetsfallen antas investeringskostnaden för ny kärnkraft uppgå till 50 000 SEK/kW (55 000 SEK/kW för kärnkraftvärme) respektive 70 000 SEK/kW (77 000 SEK/kW för kärnkraftvärme) uttryckta i 2021 års prisnivå. Den sistnämnda siffran baseras på den statliga utredningen om finansiering och riskdelning vid investeringar i nya kärnkraftsreaktorer och dess skattning på 80 000 SEK/kW men då angivet i dagens penningvärde.

Biobränslebaserad elproduktion

Ny biobränslebaserad kraftproduktion kan i modellen ske i en lång rad olika tekniker och olika storleksutföranden omfattande bland annat konventionella kraftvärmeverk, IGCC-anläggningar (Integrated Gasification Combined Cycles), BECCS (biobränsle i kombination med koldioxidavskiljning), sodapannor (med och utan förgasning), biogasmotorer samt samförbränningsanläggningar som kan sameldas med torv och kol. De huvudsakliga begränsningarna för biobränslebaserad kraft relateras till bränsleresurser och bränslepriser samt fjärrvärmeunderlag (även kondensproduktion ingår i modellen men är generellt avsevärt dyrare än kraftvärmeproduktion). Typiska data för ett konventionellt biobränslekraftvärmeverk återfinns i Tabell 8. Med rökgaskondensering, vilket förutsätts för dessa anläggningar, landar totalverkningsgraden på omkring 105–110 procent räknat på det undre värmevärdet.

Tabell 8. Typiska data för ett konventionellt biobränslekraftvärmeverk med rökgaskondensering i tre storleksutföranden (2021 års prisnivå).

	Investering (SEK/kW el)	Fast D&U (SEK/kW el)	Rörlig D&U (SEK/MWh el)	Verkningsgrad (%)	Alfavärde ⁸⁵	Livs- längd (år)
Stort verk (ca 80 MW el)	35 000	380	80	30–32 (el)	0,38–0,41	30
Mellanstort verk (ca 30 MW el)	45 000	580	85	28–30 (el)	0,35–0,39	30
Litet verk (ca 10 MW el)	60 000	920	85	25–27 (el)	0,32–0,34	30

Anm: Parametrarna verkningsgrad och alfavärde antas utvecklas över tid.

För biobränslebaserade tekniker antas generellt ingen reduktion av investeringskostnaderna över tid till följd av teknisk utveckling, med undantag för IGCC-anläggningar.

Modellbeskrivningen inkluderar även koldioxidavskiljning i samband med biobränsleförbränning i kraftvärmeverk (avfall och biobränsle), inom skogsindustrin (industriellt mottryck) samt inom vissa industrisektorer.

I modellbeskrivningen för Danmark och länderna utanför Norden är detaljeringsgraden av biobränslemarknaden samt el- och fjärrvärmeproduktion lägre än för Sverige och Finland. I Norge antas potentialen för biobränslebaserad el- och fjärrvärmeproduktion vara relativt begränsad på grund av det begränsade fjärrvärmeunderlaget. I beräkningarna antas att biobränsle kan användas i sameldning i såväl existerande moderna som nya kolkraftverk med en maximal inblandning på 10–20 procent räknat i energienheter.

⁸⁵ Alfavärdet är förhållandet mellan el- och värmeproduktion i ett kraftvärmeverk.

Avfall för el- och fjärrvärmeproduktion

I modellbeskrivningen ingår även avfallsbaserad kraft- och värmeproduktion. Trots höga investeringskostnader är detta generellt ett lönsamt alternativ på grund av de negativa bränslekostnaderna (tack vare mottagningsavgifterna). Avfallet består av en biogen andel, som antas öka över tid (se Tabell 9) och en fossil andel, det vill säga plast. Andelen biogent/fossilt påverkar utsläppen, behoven av inköp av utsläppsätter samt modellens investeringsvilja i avfallsförbränning med eller utan CCS/CCU.

Tabell 9. Andel biogent avfall i procent (energiandelen), resterande andel utgörs av fossila fraktioner.

	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Andel biogent avfall	54	56	58	60	62	64	66	68

De tillgängliga avfallsmängderna totalt sett minskar svagt under modellperioden. Det svenska avfallet antas minska relativt signifikant över tid medan importen av utländskt avfall antas öka och mer eller mindre kompensera för minskningen i det svenska avfallet.

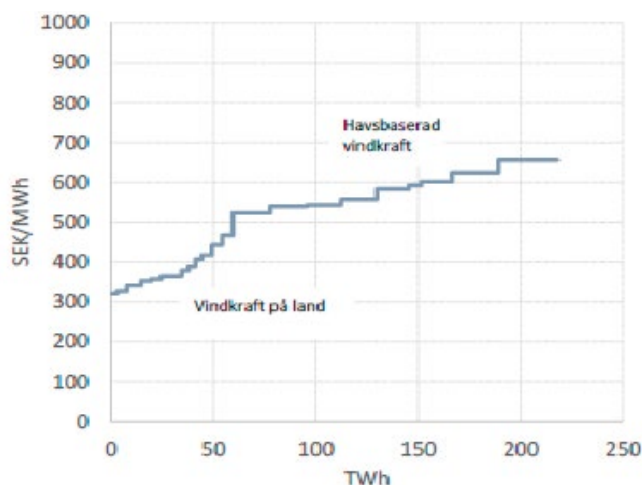
Utvecklingen för det svenska avfallet antas därmed följa trenden med lägre avfallsintensitet, mer sortering, avfallsförebyggande, utbyggnad av system för sortering och insamling med mera. Det ligger också i linje med EU:s handlingsplan för en cirkulär ekonomi som är en kärna i EU:s gröna giv. Utvecklingen för det importerade avfallet antas ligga i linje med EU:s avfallsdirektiv där EU-länderna måste minska mängden kommunalt avfall till deponi till tio procent eller mindre, av den totala mängden genererat kommunalt avfall senast 2035. Att exportera avfall till förbränning i länder (som Sverige) där detta kan komma till användning för såväl elproduktion som fjärrvärmeproduktion är därmed en ändamålsenlig åtgärd.

I *Lokal miljöhänsyn* och *Globalt miljöperspektiv* antas en alternativ utveckling för tillgången till brännbart avfall. På grund av en mer stringent miljöhänsyn i dessa scenarier och med det ett starkt fokus på resurshushållning och resurseffektivitet antas här att kapaciteten för svensk avfallsförbränning minskar över tid och övergår till att täcka behovet av svensk avfallsbehandling för sådana flöden som inte kan eller får cirkuleras. *Lokal miljöhänsyn* präglas dessutom av en mer regionaliserad och protektionistisk omvärld vilket talar för att internationell handel med avfall begränsas ytterligare. Detta innebär att den tillgängliga mängden brännbart avfall antas vara nästan hälften så stor 2050 som den motsvarande mängden i de övriga scenarierna, inklusive *Beslutad policy* (11 TWh jämfört med 20 TWh).

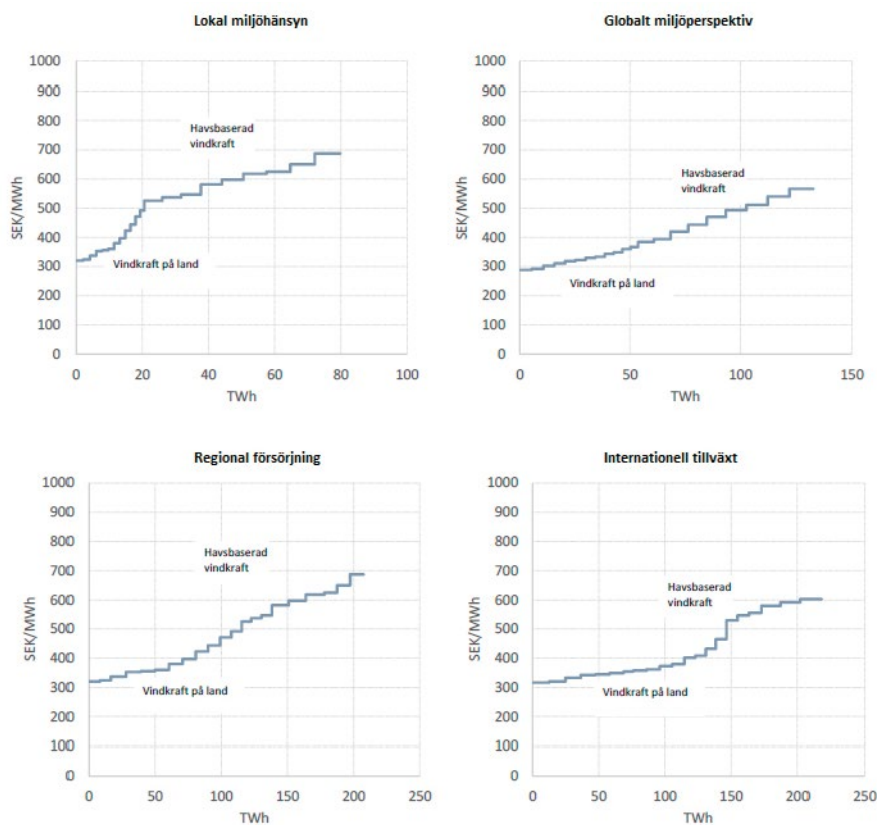
Vindkraft

Det finns ett antal pågående utbyggnadsprojekt för vindkraft som kommer att färdigställas under de närmaste åren. I modellen kommer dessa byggas ut exogent och 2025 kommer det att finnas cirka 45 TWh vindkraft. Utöver dessa 45 TWh ingår tolv olika landbaserade klasser respektive 9 olika havsbaserade klasser i Sverige i modellen. Dessa redovisas för 2040 i Figur 63 och Figur 64.

Såväl kostnads- som potentialbedömningarna skiljer sig åt mellan de analyserade scenarierna.



Figur 63. Produktionskostnad och potential för ny vindkraft i Sverige år 2040 för *Beslutad policy* givet 25 års (land) respektive 30 års (hav) teknisk livslängd och 6 procent kalkylränta (realt).⁸⁶



Figur 64. Produktionskostnad och potential för ny vindkraft i Sverige 2040 för de utforskande scenarierna, givet 25 års (land) respektive 30 års (hav) teknisk livslängd och 6 procent kalkylränta (realt).

⁸⁶ Innehållet i figuren bygger på en något förenklad LCOE-beräkning av vindkraftens produktionskostnader. I modellverktyget tillkommer ytterligare komplexitet genom att det där görs en distinktion mellan ekonomisk och teknisk livslängd vilket också spelar in i modellverktygets endogena bedömning av vindkraftens konkurrenskraft.

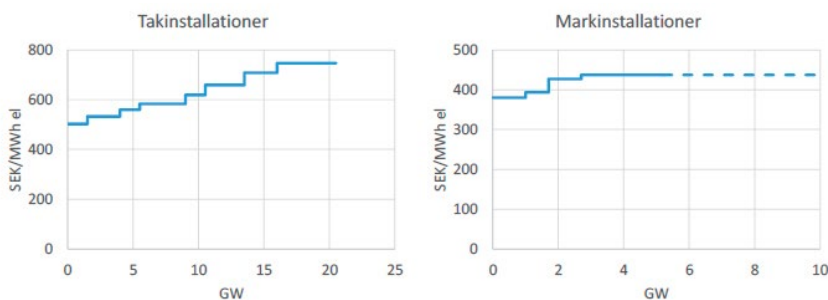
I modellen tillkommer vissa element av de så kallade systemintegrationskostnaderna (exempelvis avseende reservkapacitet och viss nätutbyggnad), i synnerhet vid mycket stora volymer av vindkraft. Dessutom tar modellen viss hänsyn till att intjäningsförmågan förändras till det sämre när andelen vindkraft når en viss gräns (ju mer vindkraft i systemet desto mer reduceras det elpris som vindkraftverken erhåller).

De omkring 45 TWh vindkraft som finns 2025 kan ersättas med nya turbiner när de befintliga turbinerna är uttjänta på grund av ålder. Detta sker alltså för en relativt stor del av den befintliga parken vid slutet av modellperioden. De nya turbinerna antas ha en högre utnyttjandetid än de gamla samt att det går att återutnyttja en del av infrastrukturen på plats såsom vägar, anslutning till elnät med mera. Till följd av detta antas investeringskostnaden för sådana utbytesprojekt utgöra cirka 80 procent av motsvarande investeringskostnad för en anläggning som byggs på en helt ny plats.

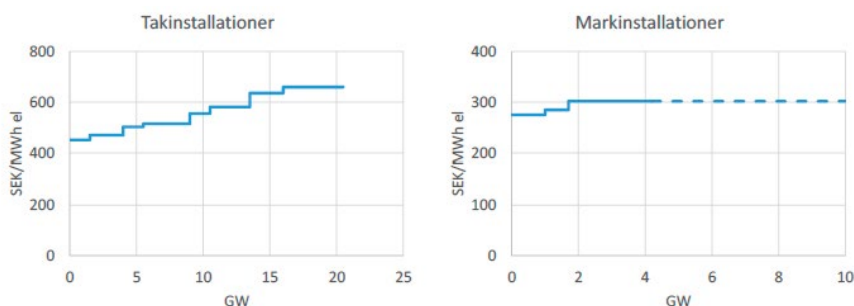
Vindkraft i länder utanför Sverige beskrivs på liknande sätt i TIMES-Nordic, det vill säga med ett antal olika kostnadsklasser med olika potential. Generellt är dock detaljeringsgraden lägre än i beskrivningen för ny vindkraft i Sverige.

Solkraft

På samma sätt som för vindkraft beskrivs investeringar i ny solex med ett relativt stort antal kostnadsklasser. De olika kostnadsklasserna täcker in solex på tak (villor, flerbostadshus och lokaler) samt friliggande solexparker på mark. För solex på mark antas en mindre del av potentialen vara samlokaliserad med vindkraft eller annan verksamhet där man kan dra fördel av befintlig infrastruktur. I flera av scenarierna antas potentialen för solcellsanläggningar på mark vara i det närmaste obegränsad. Potentialen och kostnaden redovisas för 2040 i Figur 65 och Figur 66.



Figur 65. Potential och beräknad kostnad för solex i *Beslutad policy*, *Lokal miljöhänsyn* och *Regional försörjning* för år 2040. Kostnaderna anges i 2021 års prisnivå (6 procent real kalkylränta och 30 års livslängd). I *Lokal miljöhänsyn* är dock potentialen på mark begränsad till som mest 8 GW.



Figur 66. Potential och beräknad kostnad för solex i *Globalt miljöperspektiv* och *Internationell tillväxt* för 2040. Kostnaderna anges i 2021 års prisnivå (6 procent real kalkylränta och 30 års livslängd).

I modellbeskrivningen har kombinationen solcell och batterier utelämnats. En batterilösning skulle medföra en jämnare produktion (solcell plus batteri) över dygnet och därigenom en högre andel egenförbrukning. Generellt är dock modellbeskrivningen tidsmässigt något för trubbig (inom ett år) för att fullt ut inkludera de olika aspekterna på solelsproduktion i kombination med batterilager.

I modellberäkningarna antas att nuvarande skatterabatt på 60 öre/kWh som erhålls för såld el för takapplikationer bara finns kvar i *Lokal miljöhänsyn*. I modellanalysen tas också hänsyn till att man vid egenförbrukning kopplad till små anläggningar (takinstallationer i modellbeskrivningen) slipper betala elskatt och rörlig elnätsavgift.

B.2.2 Elhandel med grannländer

Elhandeln mellan de ingående länderna begränsas initialt av existerande överföringskapaciteter. Om det är ekonomiskt lönsamt finns det även i modellverktyget en möjlighet att ytterligare förstärka överföringsförbindelserna genom nya investeringar.⁸⁷ I modellen finns dessutom ett antagande om en övre utbyggnadstakt (se Tabell 10) för ny överföringskapacitet om den blir lönsam i beräkningarna. Elhandeln mellan länderna inom Norden och mellan de nordiska länderna och Tyskland/Polen/Baltikum är med andra ord ett modellresultat.

Tabell 10. Potential för nya överföringsförbindelser mellan Sverige och dess grannländer, GW. För de utforskande scenarierna anges endast potentialer som avviker från Beslutad policy (BP) scenariot.

	Förbindelse	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
BP	Sve–Nor	3.8	3.8	4.6	5.2	5.2	5.8	6.4	7
BP	Sve–Dan	2.4	2.4	3.4	4	4	4.6	5.2	5.8
BP	Sve–Fin	2.3	3.1	4	4	4	4	4	4
BP	Sve–Tys	0.6	0.6	1.3	1.3	2	2	2.7	2.7
BP	Sve–Pol	0.6	0.6	1.3	1.3	2	2	2.7	2.7
BP	Sve–Balt	0.7	0.7	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
Lokal miljöhänsyn					Inga nyinvesteringar vare sig mellan Sverige och de nordiska länderna eller mellan Sverige och kontinenten				
Regional försörjning	Sve–Tys	0.6	0.6	0.6	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
Regional försörjning	Sve–Pol	0.6	0.6	0.6	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
Internationell tillväxt	Sve–Tys	0.6	0.6	1.3	2	2	2.7	2.7	3.4
Internationell tillväxt	Sve–Pol	0.6	0.6	1.3	2	2	2.7	2.7	3,4

Anm: BP = Beslutad policy

⁸⁷ För ny överföringskapacitet mellan länderna i modellen antas en investeringskostnad (omräknad till öre/kWh) på omkring 5–10 öre/kWh överförd el beroende på vilka länder som knyts samman. I denna kostnadsuppskattning ingår även ett antagande om att de nationella stamnäten inom respektive land måste förstärkas något.

I modellen ingår för Norge import- och exportmöjlighet med Storbritannien och Nederländerna med idag befintliga överföringskapaciteter. Elsystemen i Storbritannien och Nederländerna ingår inte i modellen och elpriset i dessa länder är exogena antaganden. I modellen ingår också en importmöjlighet från Ryssland in till Finland som tidigare uppgick till cirka 5 TWh. Som följd av Rysslands fullskaliga invasion av Ukraina och därav införda sanktioner har denna importmöjlighet tagits bort för framtida modellår.

Den kortsiktiga balanshandeln mellan länderna omfattas inte av modellbeskrivningen eftersom tidsindelningen inom ett kalenderår är för trubbig. Modellen använder sig av tolv tidssteg eller perioder inom ett modellår och det är följaktligen elprisskillnaderna mellan de olika länderna för dessa tolv perioder som driver import/export och utbyggnad av överföringskapaciteten. I modellbeskrivningen används inte hela den existerande överföringskapaciteten utan omkring tio procent reserveras för den kortsiktiga balanshandeln, vilken med andra ord inte inkluderas i modellen. Tillgängligheten till den återstående kapaciteten antas också vara något begränsad på grund av eventuella driftavbrott och svagheter i respektive lands elnät. En maximal utnyttjandegrad antas därför på omkring 75 procent till och från kontinenten och cirka 85 procent mellan de nordiska länderna.

Övriga länder

I TIMES-Nordic ingår (utöver Sverige) Norge, Danmark, Finland, Tyskland, Polen, Estland, Lettland och Litauen enligt Figur 67. För dessa länder beskrivs el- och fjärrvärmeförsörjningen men det ingår inte en beskrivning av hela energisystemet som i Sverige. Av resursmässiga skäl är detaljrikedomen i modellverktyget lägre i de övriga länderna jämfört med den svenska beskrivningen.

De stöd för förnybart som finns i andra länder är generellt beskrivna som produktionsmål. I Tyskland och Polen antas att andelen förnybar elproduktion växer till följd av sådana produktionsmål, till cirka 80 procent av bruttoelförbrukningen i Tyskland till 2030 (i enlighet med den tyska regeringens mål) respektive drygt 30 procent i Polen fram till 2030 och minst 40 procent fram till 2040.⁸⁸ I dessa bägge länder ingår därmed ingen explicit beskrivning av stödsystemen.



Figur 67. Länder i norra Europa som ingår i TIMES-Nordic (i mörkare färg).

⁸⁸ För Tyskland baseras detta antagande på den tyska regeringens reviderade energipolitiska mål från 2022, se <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/energiwende-beschleunigen-2040310>, och för Polen på den polska regeringens "Energy Policy of Poland until 2040 (EPP2040)", <https://www.gov.pl/web/climate/energy-policy-of-poland-until-2040-epp2040>.

I modellen är de ingående länderna inte ytterligare uppdelade i underregioner eller prisområden för el utan varje land utgör ett unikt elprisområde. Det gör också att exempelvis Sverige behandlas som ett elprisområde och inte, som i verkligheten, fyra olika elprisområden.

De antagna bränslepriserna (förutom vissa transmissions- och distributionspåslag samt kostnadsfördelar beroende på skalfördelar) och vissa centrala teknikdata (kostnader och prestanda) är gemensamma för samtliga i modellen beskrivna länder. Tillgång på vind, sol och biomassa är exempel på parametrar som antas skilja sig mellan länderna.

Förutsättningarna i de övriga länderna i modellverktyget har signifikant påverkan på den gemensamma elmarknaden och därmed på utvecklingen i Sverige. Förnybarhetspolitiken i grannländerna är en sådan faktor som redan nämnts och efterfrågeutvecklingen utgör en annan faktor. Den antagna (brutto)elbehovsutvecklingen för samtliga länder följer ENTSO-E:s scenario ”Distributed Energy” och antas vara densamma i samtliga scenarier. När det gäller produktionsmixen i de olika länderna är den ett modellresultat i beräkningarna.

B.2.3 Infångning och lagring av koldioxid (CCS)

Avskiljning och deponering av koldioxid finns med som en möjlighet för att minska utsläppen från vissa fossila kraftslag i samtliga modellerade länder. Av praktiska och modelltekniska skäl antas CCS endast vara tillgänglig i nya anläggningar (alternativet kan utgöras av en ny konventionell anläggning utan CCS). För CCS-anläggningar antas en avskiljningsgrad på 90 procent samt en minskning i elverkningsgrad med typiskt tio procentenheter jämfört med en konventionell anläggning.

I modellbeskrivningen ingår även möjligheten till avskiljning av biogena utsläpp (BECCS) från biobränsleeldad kraftvärme i Sverige. Det inkluderar kraftvärmeverk baserade på biobränslen och avfall (där den biogena andelen räknas in) i fjärrvärmenäten samt biobränsleeldade mottrycksanläggningar inom skogsindustrin. Kostnaden för BECCS-anläggningar antas vara klart högre än för konventionella anläggningar och kräver därför antingen ett riktat stöd eller en efterfrågan på negativa utsläpp för att bli lönsamma i modellberäkningarna.⁸⁹

Eftersom negativa utsläpp idag inte omfattas av EU ETS har det definierats som en exogen given efterfrågan på negativa utsläpp över tid i modellen. Vi förutsätter en efterfrågan på negativa utsläpp, genom statlig auktionering eller genom bilaterala arrangemang, som växer över tid, närmare bestämt till 6 Mton koldioxid till 2050.

Lagringspotentialen för avskild koldioxid (fossil respektive biogen) antas vara i det närmaste oändlig för de modellerade länderna. Det råder dock tämligen stora osäkerheter beträffande kostnader och potentialer för CCS i samband med kraftproduktion. Detta eftersom det helt enkelt saknas kommersiell erfarenhet även om det pågår försöksverksamhet i såväl Sverige som Norge.

B.2.4 Fjärrvärme

Fjärrvärme kan produceras i kraftvärmeverk, hetvattenpannor (bränsle eller el) och värmepumpar. Även industriell spillvärme, förnybar drivmedelsproduktion och solvärme antas (inom vissa begränsningar) vara tillgängligt för fjärrvärmeförsörjning. De svenska fjärrvärmesystemen beskrivs i modellverktyget som ett enda sammanhängande (aggregerat) system.

⁸⁹ Kostnadsuppskattningarna för BECCS är delvis tagna från den Klimatpolitiska vägvalsutredningen från 2020 (”Vägen till en klimatpositiv framtid”, SOU 2020:4) som anger ett kostnadsspann på 650–1 100 SEK/t inklusive transport och lagring av avskild koldioxid.

Det är naturligtvis en förenkling, i synnerhet som de verkliga systemen bitvis kan uppvisa stora skillnader sinsemellan.

I tidigare avsnitt redogörs för några viktiga antaganden för kraftvärme. I Tabell 11 presenteras nyckeldata för två typiska hetvattenpannor, en fastbränsleeldad och en gaseldad (bränsle-kostnader och styrmedel är bränslespecifika och tillkommer i modellen men redovisas inte i tabellen).

Tabell 11. Typiska produktionskostnader för fjärrvärme i värmeverk (hetvattenpannor).

	Investering (SEK/kW värme)	Fast D&U (SEK/kW värme)	Rörlig D&U (SEK/MWh värme)	Verkningsgrad (%)	Livslängd (år)
Naturgas	4 000	25	15	90	30
Biobränsle, torv eller stenkol	8 000	100	20	90–95	30

Industriell spillvärme

Potentialen för industriell (högtempererad) spillvärme är i modellen en kombination av exogena antaganden och endogena beräkningsresultat. Dels finns en tillgänglig potential som representerar konventionella spillvärmekällor från industrin, dels finns en potentiellt tillgänglig mängd spillvärme från produktion av förnybara drivmedel i bioraffinaderier. Potentialen för de konventionella industriella spillvärmekällorna bygger på exogena antaganden. Potentialen för spillvärme från bioraffinaderier är ett endogent beräkningsresultat och kan därmed skilja sig åt mellan olika beräkningsfall beroende på hur mycket och vilka biodrivmedel som efterfrågas och vilka processer som används för produktionen.

Antagen potential för konventionell industriell spillvärme uppgår till cirka 4,5 TWh 2025 och stiger till cirka 5 TWh till år 2050. Kostnaden för att använda den industriella spillvärmens är låg i modellen och avser inte att representera ett marknadspris utan i stället kostnaden för att ta tillvara värmen. Potentialantagandena är jämförbara med beräknade nivåer inom EU-projektet Seenergies16, med antagande om en viss framtida sänkning av den generella temperaturen i fjärrvärmesystem, en ökande grad av intern värmeåtervinning inom industrin, samt en ökad industriproduktion under den modellerade perioden.

Spillvärme till värmepumpar i fjärrvärmeproduktion

Föregående avsnitt behandlade industriell spillvärme med relativt höga temperaturer redo att användas mer eller mindre direkt i fjärrvärmeproduktionen. I detta avsnitt redogörs i stället för modellbeskrivningen av värmekällor med lägre temperaturer som växlas upp med hjälp av värmepumpar i fjärrvärmeproduktionen. Temperaturen för dessa källor, och därmed den insats som behövs för temperaturhöjning, varierar emellertid, från förhållandevis låga till medelhöga. Värmekällorna utgörs i modellen av:

- Vattenrening
- Omgivande vatten (sjöar etc.)
- Datacenter
- Spillvärme från vätgasproduktion genom elektrolys
- Övriga värmekällor

Modellens potential för fjärrvärmeproduktion från värmepumpar är en kombination av exogena antaganden och endogena beräkningsresultat. För alla värmekällor förutom spillvärme från välgasproduktion sätts exogena maxpotentialer. Den sammanlagda maxpotentialen för fjärrvärmeproduktion från dessa värmekällor, det vill säga vattenrening, omgivande vatten, datacenter, lågtempererad industriell spillvärme (från annat än elektrolys) samt övriga värmekällor antas enligt Tabell 12. Potentialerna som anges är på årsbasis och antas vara jämnt ”fördelade” över året (det är således inte möjligt att utnyttja hela potentialen exempelvis under vintern).

Tabell 12. Maxproduktion av fjärrvärme från värmepumpar baserade på spillvärme, TWh.

	2025	2030	2040	2050	2060
Maxproduktion	6,5	7,8	9,3	9,7	10,1

Potentialen för spillvärme från välgasproduktion, vilken kan uppgraderas med hjälp av värmepump och användas i fjärrvärmesystem, är beror av efterfrågan på välgas i modellen vilket är en endogen parameter, det vill säga ett beräkningsresultat. Såväl välgasproduktion kopplat till industriellt välgasbehov som välgasproduktion för transportändamål antas kunna ge upphov till spillvärme för användning i fjärrvärme. Även välgasproduktion kopplat till produktion av elektrobränslen inkluderas. Med tanke på lokaliseringsaspekter (närhet till värmeavsättningsmöjligheter) begränsas spillvärmepotentialen kopplat till industriell välgasproduktion till 30 procent av elektrolyskapaciteten.

B.2.5 Fjärrkyla

Efterfrågan på kyla i modellen utgörs till största delen av en efterfrågan på komfortkyla i lokaler och kan tillgodoses antingen av fjärrkyla eller av kylmaskiner (kompressor) i byggnaden (individuell kyla).

Tabell 13 visar antagna kostnader och verkningsgrader för kompressor- respektive absorptionskyla. Användning av frikyla är i modellen förknippat med låga kostnader men begränsas så att andelen produktion från detta alternativ är likartad med dagens situation även för framtida år. När det gäller det fjärde alternativet för fjärrkyla, värmepumpar i fjärrvärmeproduktionen, kan detta i princip betraktas som frikyla om värmepumpen har byggts av värmeproduktionsskäl. I modellens optimering kommer emellertid båda produkterna (fjärrvärme och fjärrkyla) bidra till teknikens kostnadseffektivitet och konkurrenskraft.

Tabell 13. Data för kompressorkyla och absorptionskyla i modell (fjärrkyla).

	Investering (SEK/kW kyla)	Fast D&U (SEK/kW kyla)	Verkningsgrad	Livslängd (år)
Kompressorkyla	4 000	160	5,1–5,5 (COP)	20
Absorptionskyla	4 500	180	0,8–0,85 (från FV)	25

Efterfrågan på kyla för framtida år har för lokaler gjorts utifrån antaganden kring förändring av lokalbeståndet (total area), förändring av andelen kyld area i lokaler, och förändring av kylbehov per kyld area. Den sistnämnda parametern antas bland annat bero av ett varmare klimat. Ökande marknadsandel för fjärrkyla är i modellen kopplad till en ökande

distributionskostnad, för att simulera att områden med lägre kyldensitet (en glesare efterfrågan på kyla) då behöver exploateras. Litteraturunderlaget för denna bedömning har varit begränsad och här finns således osäkerheter. En översikt av antagna indata kopplat till fjärrkyladistribution ges i Tabell 14.

Tabell 14. Data för fjärrkyladistribution.

	Investering (SEK/kW kyla)	Fast D&U (SEK/kW kyla)	Rörlig kostnad (SEK/MWh kyla)	Verkningsgrad (%)	Livslängd (år)
Fjärrkylanät	8 000	300	0–75	0,92	50

B.2.6 Energilager och annan flexibilitet

I modellverktyget inkluderas en rad olika tekniker för att bidra med flexibilitet inom elsektorn och inom fjärrvärmesektorn. Flexibiliteten växer i betydelse med ett växande bidrag från väderberoende elproduktion. Med flexibilitet avser vi här förmågan att skjuta på efterfrågan i tid beroende på det aktuella priset och inte att helt avstå från användning. Det sistnämnda, ”load shedding”, ingår inte i modellbeskrivningen. Däremot kan man långsiktigt avstå användning genom konvertering till andra alternativ i modellbeskrivningen men detta ingår normalt inte i begreppet flexibilitet.

På elsidan finns flexibilitet för kortsiktig, det vill säga dygnsvis, variationshantering genom olika batterialternativ eller genom vätgastankar ovan mark. Dessutom ingår smart laddning för en växande andel av elbilsflottan (V2G, Vehicle to Grid, ingår dock inte i skrivande stund). För mer långsiktigt, typ säsongsmässig, variationshantering står bergrum för vätgaslagring till förfogande. Dessutom bidrar den befintliga vattenkraften med, precis som idag, ett betydande tillskott till flexibilitet.

På fjärrvärmesidan omfattas såväl dygnsackumulatorer som säsongslager av typen ”groplager”.

Dessa flexibilitetslösningar utgör en del i en större palett av åtgärder där naturligtvis även planerbar produktionseffekt och utökade elöverföringar mellan länderna kan bidra till att utjämna variationer i tid och rum (geografi). Beroende på omvärldsförutsättningarna finns även ett inslag av trade-off mellan de olika åtgärderna. I exempelvis ett elsystem dominerat av planerbar produktionseffekt är incitamenten för flexibilitetslösningar sannolikt lägre än i ett system som domineras av väderberoende elproduktion.

B.2.7 Livslängder och kalkylräntor

Livslängderna för olika tekniker skiljer sig åt, och det gäller också om det är befintliga tekniker eller om det rör sig om nyinvesteringar. Typiska tekniska livslängder för ny el- och fjärrvärmeproduktion är 30 år. För ny kärnkraft och vattenkraft antas längre livslängder än så, typiskt 50–60 år. För småskaliga och användarnära tekniker antas kortare tekniska livslängder, till exempel 20 år för bergvärmepumpar och pellets pannor. Kalkylräntorna ligger inom 3–10 procent beroende på inom vilken sektor investeringen görs. För investeringar i nätinfrastruktur förutsätts en ränta i den nedre delen av det intervallet medan investeringar i exempelvis effektiviseringsåtgärder inom byggnadsstocken förutsätter en kalkylränta i den övre delen av intervallet. För el- och fjärrvärmeproduktion antas en real kalkylränta på 6 procent. Detsamma gäller investeringar inom industrin.

B.2.8 Modellperiod och tidsupplösning

Modellens tidshorisont sträcker sig mellan 2005 och 2060 i steg om fem år. Utgångspunkten är ett normalår (med avseende på tillrinning i vattenmagasin och temperatur) fram till 2060.

Ett modellår delas i sin tur in i tolv perioder (fyra årstider samt dag, eftermiddag (det vill säga "peak") respektive natt per årstid) när det gäller efterfrågan på och tillförsel av el och fjärrvärme). För varje period beräknar därmed modellen en unik marginalkostnad. För de flesta andra energibärare, som exempelvis fossila bränslen och biobränslen, antas ingen säsongsuppdelning i prisbild (eller efterfrågan och utbud) inom ett modellår.

B.3 Bostäder och service m.m.

I sektorn bostäder och service med mera ingår flera delsektorer. Här ingår energianvändningen för hushåll, service⁹⁰, jordbruk, skogsbruk, fiske och byggsektorn. Energianvändningen är fördelad på olika energibärare.

Energianvändningen för de olika delsektorerna skrivs fram av Energimyndigheten. Delar av energibehovet läggs in som indata i modellen TIMES-Nordic för att modellen ska fördela per energibärare och teknik. De delarna är värmebehovet för bostäder och energianvändningen för arbetsmaskiner i alla delsektorer i form av totalt bensin-, diesel- och elbehov.

Energianvändning för de övriga energibärarna i delsektorerna skrivs fram av Energimyndigheten men läggs inte i modellen TIMES-Nordic.

B.3.1 Energianvändning för bostäder och service

När scenarierna tas fram görs inledningsvis en bedömning av hur värmebehovet kommer att utvecklas i:

- Befintlig bebyggelse.
- Tillkommande värmebehov genom nybyggnation.

Därefter görs en kostnadsjämförelse mellan olika uppvärmningsalternativ samt åtgärder för energieffektivisering för att bedöma hur det framtida värmebehovet ska tillgodoses i modellen TIMES-Nordic. Värmebehovet för bostäder och service beräknas av Energimyndigheten och läggs in i modellen TIMES-Nordic medan energibärare och teknik för uppvärmning är ett modellresultat. Värmen kan genereras med exempelvis olja, naturgas, el, värmepumpar, fjärrvärme och pellets i modellen.

Eltjänst användning för hushållsel/driftel för tillkommande nybyggnation och elanvändning för datacenter räknas fram av Energimyndigheten. Drivmedel och elbehov till arbetsmaskiner räknas även fram och läggs in som indata i TIMES-Nordic. Modellen gör en fördelning på olika energibärare. Här tas hänsyn till elektrifieringstakten för arbetsmaskiner i de flesta delsektorer.

⁹⁰ Som exempelvis hotell och restaurang, vård, utbildning, IT och datacenter, kultur och nöje, försäkrings- och finansverksamhet, uthyrning och fastighetsverksamhet samt annan serviceverksamhet.

B.3.2 Uppvärmningsbehov befintlig bebyggelse och nybyggnation

Energianvändning för uppvärmning av befintlig bebyggelse bygger huvudsakligen på tillgänglig statistik för småhus, flerbostadshus och lokaler⁹¹ men även på uppgifter som rapporteras in till Eurostat enligt förnybartdirektivet⁹².

Klimatförändringarna innebär att värmebehovet kommer att minska under scenarioperioden fram till 2060. Baserat på SMHI:s RCP⁹³-scenarier har Energimyndigheten gjort antaganden kring hur värmebehovet kan utvecklas i enlighet med dessa scenarier fram till 2050 i befintlig bebyggelse. I scenarierna används RCP 4.5 genomgående vilket innebär att energibehovet för befintliga bostäder gradvis minskar med 7,2 procent fram till 2050 jämfört med basåret 2022. För perioden 2050 till 2060 antas värmebehovet minska med 2,6 procent.

För tillkommande värmebehov från nybyggnation av småhus, flerbostadshus och lokaler görs antaganden om area, energianvändning per kvadratmeter och antal nya lägenheter. Med utgångspunkt i Boverkets prognoser över byggande och byggbehov gör Energimyndigheten antaganden över antal nya bostäder, se Tabell 15.

Tabell 15. Antal nya lägenheter i småhus och flerbostadshus.

Antal nya lägenheter	2022–2030	2031–2050	2051–2060
Beslutad policy	348 000	465 000	200 000
Lokal miljöhänsyn	313 200	418 500	180 000
Globalt miljöperspektiv	365 400	488 250	210 000
Regional försörjning	330 600	441 750	190 000
Internationell tillväxt	382 800	511 500	220 000

Källa: Energimyndigheten

Boverkets bedömningar sträcker sig till 2030 medan Energimyndighetens scenarier är till 2060. Baserat på SCB:s befolkningsprognos, görs antagandet att antal personer/hushåll kommer att vara relativt konstant efter 2030. Befolkningsutvecklingen finns i Tabell 16.

Tabell 16. Befolkningsutveckling.

2022	2025	2030	2040	2050	2060
10 521 556	10 602 310	10 719 455	11 007 742	11 353 867	11 612 214

Källa: SCB

Den uppvärmda arean för nybyggda bostäder antas vara 155 kvadratmeter för småhus och 59 kvadratmeter per lägenhet. Detta baseras på SCB:s statistik över nybyggda lägenheter i flerbostadshus de senaste fem åren samt Energimyndighetens statistik från småhusunder-

⁹¹ Energimyndigheten, Energistatistik för småhus, flerbostadshus och lokaler, <https://www.energimyndigheten.se/statistik/officiell-energistatistik/tillforsel-och-anvandning/energistatistik-for-smahus-flerbostadshus-och-lokaler/>

⁹² Eurostat, SHARES, [https://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/database/additional-data#Short%20assessment%20of%20renewable%20energy%20sources%20\(SHARES\)](https://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/database/additional-data#Short%20assessment%20of%20renewable%20energy%20sources%20(SHARES))

⁹³ SMHI, RCP scenarier, <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/klimatmodeller-och-scenarier/rcp-er-den-nya-generationen-klimatscenarier-1.32914> (hämtad 2024-11-13)

sökningen för hus byggda efter 2011. Boverkets byggregler BBR (BFS 2020:4, BBR 29) används för att bedöma värmebehovet för nybyggnation.

För lokaler finns inget bra underlag för scenarier över nybyggnation. I Energimyndighetens statistik över uppvärmd area för flerbostadshus och lokaler är utvecklingen av arean i lokaler cirka 76 procent av utvecklingen av arean i flerbostadshus i genomsnitt sedan 2010. Det antagandet används i scenarierna för lokalers tillkommande värmebehov.

Resultatet läggs sedan in som indata till modellen TIMES-Nordic. I nästa steg konkurrerar olika uppvärmningssätt och åtgärder för energieffektivisering om detta värmebehov i modelleringen i TIMES-Nordic. Tabell 17 visar det beräknade uppvärmningsbehovet för befintligt och ny bebyggelse fram till 2060.

Tabell 17. Uppvärmningsbehov för bostäder fördelade på nybyggnation och befintligt.

	Nybyggnation			Befintligt		
	Småhus	Flerbostadshus	Lokaler	Småhus	Flerbostadshus	Lokaler
Beslutad policy						
2025	541	578	474	39 483	30 388	20 919
2030	1 175	1 254	1 030	38 972	29 994	20 648
2035	1 761	1 880	1 543	38 460	29 600	20 377
2040	2 246	2 397	1 967	37 949	29 206	20 106
2045	2 650	2 828	2 321	37 437	28 813	19 835
2050	3 053	3 259	2 675	36 925	28 419	19 564
2055	3 457	3 690	2 675	36 448	28 052	19 311
2060	3 861	4 121	3 383	35 971	27 685	19 058
Lokal miljöhänsyn						
2025	487	520	427	39 483	30 388	20 919
2030	1 058	1 129	927	38 972	29 994	20 648
2035	1 585	1 692	1 388	38 460	29 600	20 377
2040	2 021	2 157	1 771	37 949	29 206	20 106
2045	2 385	2 545	2 089	37 437	28 813	19 835
2050	2 748	2 933	2 408	36 925	28 419	19 564
2055	3 112	3 321	2 408	36 448	28 052	19 311
2060	3 475	3 709	3 044	35 971	27 685	19 058
Globalt miljöperspektiv						
2025	568	607	498	39 483	30 388	20 919
2030	1 234	1 317	1 081	38 972	29 994	20 648
2035	1 849	1 974	1 620	38 460	29 600	20 377
2040	2 358	2 517	2 066	37 949	29 206	20 106
2045	2 782	2 969	2 437	37 437	28 813	19 835
2050	3 206	3 422	2 809	36 925	28 419	19 564
2055	3 630	3 875	2 809	36 448	28 052	19 311
2060	4 054	4 327	3 552	35 971	27 685	19 058

	Nybyggnation			Befintligt		
	Småhus	Fler-bostadshus	Lokaler	Småhus	Fler-bostadshus	Lokaler
Regional försörjning						
2025	418	446	366	39 586	30 466	20 973
2030	982	1 048	861	39 074	30 073	20 702
2035	1 577	1 683	1 382	38 563	29 679	20 431
2040	2 057	2 195	1 802	38 051	29 285	20 160
2045	2 440	2 605	2 138	37 539	28 891	19 889
2050	2 824	3 014	2 474	37 028	28 498	19 618
2055	3 208	3 424	2 474	36 544	28 125	19 361
2060	3 591	3 833	3 146	36 067	27 758	19 109
Internationell tillväxt						
2025	595	635	522	39 483	30 388	20 919
2030	1 293	1 380	1 133	38 972	29 994	20 648
2035	1 937	2 067	1 697	38 460	29 600	20 377
2040	2 470	2 637	2 164	37 949	29 206	20 106
2045	2 915	3 111	2 553	37 437	28 813	19 835
2050	3 359	3 585	2 943	36 925	28 419	19 564
2055	3 803	4 059	2 943	36 448	28 052	19 311
2060	4 247	4 533	3 721	35 971	27 685	19 058

Allt eftersom klimatet i Sverige blir varmare kommer även behovet av kyla i byggnader att öka. Det är främst under sommaren som detta behov uppstår. Eftersom det finns stora osäkerheter kring energianvändningen för kyla och hur människor agerar när kylbehovet ökar görs antagandet att kylbehovet inte påverkar energianvändningen i sektorn.

B.3.4 Tillkommande elanvändning i nybyggnation, hushållsel och driftel

Hushållsel är den el som går till olika elektriska apparater i ett hushåll och driftel är den el som används i byggnader för olika elinstallationer, exempelvis ljus och hissar. Det statistiska underlaget för hushållsel och driftel är mycket bristfälligt. Det är också svårt att få bra underlagsdata till det som driver denna elanvändning såsom antal och typ av apparater, belysning m.m. Det gör det svårt att modellera och sätta upp olika scenarier av elanvändningen för dessa ändamål. Mot bakgrund av detta används en tämligen enkel metod där ett antagande görs att denna elanvändning är densamma per kvadratmeter som den i genomsnitt var mellan åren 2017–2022 enligt Energimyndighetens rapport Energiindikatorer 2024⁹⁴, se Tabell 18.

⁹⁴ Energimyndigheten, Energiindikatorer 2024, <https://www.energimyndigheten.se/energisystem-och-analys/nulaget-i-energisystemet/energiindikatorer/> (hämtad 2024-11-26)

Tabell 18. Hushållsel/driftel för nybyggnation i alla scenarier.

Typ av byggnad	Elanvändning per kvadratmeter och år
Småhus	36 kWh/ m ² /år
Flerbostadshus	52 kWh/m ² /år
Lokaler	131 kWh/m ² /år

Källa: Energiindikatorer 2024

Metoden bygger på area, elanvändning per kvadratmeter och antal nya lägenheter. Metoden tar således hänsyn till antal nya bostäder som tillkommer men missar eventuella effektiviseringar, förändringar i antalet apparater och användningstiden av apparater per hushåll. Antal nya lägenheter i småhus och flerbostadshus för de olika scenarierna finns beskrivet i Tabell 15.

B.3.5 Energianvändningen för arbetsmaskiner i hushåll och service

Energianvändningen för arbetsmaskiner i hushåll och service antas vara konstant på total nivå. Däremot sker det en fördelning på olika typer av bränslen i TIMES-Nordic beroende på kostnadsjämförelse och reduktionsplikt. Hänsyn tas till olika elektrifieringstakt i de olika scenarierna. Den redovisade totala energianvändningen minskar då elmotorer är mer effektiva än förbränningsmotorer. Antagande kring elektrifieringstakten inom bostäder och service finns beskrivet mer detaljerat under avsnitt B.6 Elektrifiering av arbetsmaskiner.

B.3.6 Datacenter

Elanvändningen för datacenter ingår under delsektorn bostäder och service, specifikt under service.

Datacenter växer idag kraftigt till följd av en ökad digitalisering i samhället. Den pågående digitaliseringen ökar kraftigt datamängderna som behöver hanteras och branschen genomgår en industrialisering och globalisering som möjliggörs genom bättre infrastruktur och drivs av skalfördelar och automation.

Allt fler internationella företag ser fördelar med att bygga datacenter i Norden. Sverige har på många sätt gynnsamma förhållanden för dessa investeringar, såsom stabil politik, avbrottsfri elförsörjning, elproduktion med en hög andel förnybart och låga koldioxidutsläpp, kallare väder, få naturkatastrofer och relativt bra internetförbindelser.

Hur stor tillkommande elanvändning datacenter, kryptovalutor och artificiell intelligens (AI) skulle kunna stå för är idag väldigt osäkert. Det är kraftigt beroende på olika omvärldsfaktorer som politik och teknikutveckling. Många påpekar att elanvändningen kommer att öka kraftigt bland annat på grund av den snabba och kraftfulla tillväxten av AI. Samtidigt har historien visat att en kraftig tillväxt inom internettrafik och datahallsbelastningen inte inneburit ökad energianvändning i samma utsträckning. Energianvändningen inom datacenter har endast ökat måttligt trots den starka tillväxten på datahallstjänster.⁹⁵ Det har framför allt berott på två drivkrafter: ökad energieffektivisering och ett skifte från mindre, ej effektiva, datacenter till större effektivare. Det ställs även högre krav för uppföljning av energianvändning i datacenter

⁹⁵ IEA, Data Centres and Data Transmission Networks, <https://www.iea.org/energy-system/buildings/data-centres-and-data-transmission-networks> (hämtad 2024-11-04)

för att minska utsläppen och öka effektiviseringen.⁹⁶ Övergången till effektivare kylsystem och implementering av vätskekylningen kan minska energianvändningen med tio respektive 20 procent⁹⁷. Maskininlärning kommer också att optimera och minska energianvändningen i datacenter.

IEA estimerar att elanvändningen globalt för datacenter, kryptovaluta och AI kommer öka med motsvarande årlig tillväxt på ungefär 7–8 procent till 2026. För Europa estimeras ökningen motsvarande en årlig tillväxt på cirka 11 procent⁹⁸ till 2026.

Energimyndigheten finansierade under 2020 en rapport tillsammans med flera andra aktörer som företaget RADAR⁹⁹ utförde. Den årliga tillväxten av installerad effekt bedömdes till 13 procent fram till 2025.

RISE¹⁰⁰ fick under hösten 2022 i uppdrag av Energimyndigheten att ta fram en rapport över hur digitaliseringen påverkar energianvändningen, där bedömningen av utvecklingen för datacenter ingick. Där bedöms den årliga tillväxttakten till 13 procent fram till 2022, 8 procent till 2025 och 2–3,4 procent till 2030.

Energianvändningen för AI är väldigt osäker men den kan estimeras utifrån mängden AI-servrar som säljs eller etableras i ett land och deras installerade effekt. OpenAIs modell ChatGPT uppskattades att använda 50 GWh under 100 dagar¹⁰¹.

På en pressträff¹⁰² berättade Microsoft att de expanderar de svenska datacentren, en fördubbling av nuvarande kapacitet. RISE uppskattade energiförbrukningen för expanderingen till cirka 146 GWh. Om vi hade tio datacenter av den storleken i Sverige blir det cirka 1 460 GWh¹⁰³. Om denna energianvändning adderades till det RISE estimerade¹⁰⁴ fram till 2030 motsvarar det en årlig tillväxttakt på cirka 7 procent mellan 2025 och 2030. Dessa är dock väldigt osäkra siffror.

Hur attraktivt Sverige är för utländska datahallsföretag beror på en mängd faktorer såsom elpriser, skattenivåer, kapacitet i elnätet samt hur attraktivt det anses vara jämfört med andra länder. Det beror också på hur digitalisering av samhället generellt utvecklas och hur det påverkar behovet av el.

⁹⁶ EU-kommissionen, COMMISSION DELEGATED REGULATION (EU) 2024/1364, https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202401364 (2024-11-14)

⁹⁷ IEA. Electricity 2024 – Analysis and forecast to 2026, 2024. Electricity 2024 – Analysis and forecast to 2026 ([iea.blob.core.windows.net](https://www.iea.blob.core.windows.net))

⁹⁸ IEA. Electricity 2024 – Analysis and forecast to 2026, 2024. Electricity 2024 – Analysis and forecast to 2026 ([iea.blob.core.windows.net](https://www.iea.blob.core.windows.net))

⁹⁹ Radar, Datacenter i Sverige 2020–2025, 2020.

¹⁰⁰ Rise, Energy use in Data Centres and digital systems, 2022.

¹⁰¹ RISE, Generativ AI kör inte på luft!, 2024. Generativ AI kör inte på luft! | RISE (hämtad 2024-06-18)

¹⁰² Regeringen, Statsministern håller en pressträff tillsammans med Microsoft, <https://www.regeringen.se/pressmeddelanden/2024/05/pressinbjudan-statsministern-haller-en-presstraff-tillsammans-med-microsoft/> (2024-06-05)

¹⁰³ Mejlkonversation med RISE Tor Björn Minde, 2024-06-05.

¹⁰⁴ 5,4–6,2 TWh till 2030, om vi adderar 10 AI datacenter blir det ca 6,9–7,7 TWh till 2030.

För basåret 2022 utgår Energimyndigheten från att energianvändningen för datacenter och kryptovaluta ligger i linje med den årliga energistatistiken, elanvändning i Sverige inom information och kommunikationsverksamhet.¹⁰⁵ Sedan görs en bedömning av tillväxttakten fram till 2060 i enlighet med RISE rapport, IEA:s rapport samt tillväxten av AI. I Tabell 19 finns antagna utvecklingstakter för olika scenarier. Sammantaget är utvecklingen för datacenter svår att bedöma och än svårare på längre sikt men kan potentiellt få väldigt stor effekt på elanvändningen.

Tabell 19. Antagna årliga tillväxttakter för datacenter i de olika scenarierna, procent.

Tillväxttakt	Beslutad policy och Globalt miljöperspektiv	Lokal miljöhänsyn och Regional försörjning	Internationell tillväxt
–2025	1,08	1,02	1,13
2026–2030	1,08	1,02	1,08
2031–2050	1,05	1,02	1,08
2051–2060	1,02	1,02	1,02

B.3.7 Energianvändning i skogsbruket

Energianvändningen inom skogsbruket består främst av energi som går till diesel- och bensinförbrukning för avverknings- och skogsvårdsåtgärder samt användning av förädlade träbränslen, el och flis för uppvärmning av skogsplantskolor.

Utvecklingen i skogsbruket som presenteras nedan bygger på de skogliga konsekvensanalyserna från 2022, SKA22, som tas fram av Skogsstyrelsen¹⁰⁶.

Energianvändningen i skogssektorn utgörs till stor del av bensin och diesel till arbetsmaskiner. Scenariot utgår från den modell SCB tog fram på uppdrag av Energimyndigheten för energianvändningen i skogsbruket 2007¹⁰⁷. Modellen utgår från antagande om volym och bränsleåtgång för olika moment inom skogsbruket, åtgångstal. Bränsleåtgången för diesel och bensin beräknas med hjälp åtgångstalen och antal hektar i SKA22. Sedan appliceras den procentuella förändringen för att beräkna diesel- och bensinförbrukning för avverknings- och skogsvårdsåtgärder fram till 2060. Hänsyn tas även till elektrifieringstakten för skogsbrukets maskiner, se avsnitt B.6 Elektrifiering av arbetsmaskiner.

Tabell 20 visar energianvändningen för diesel, bensin och el. Detta läggs in som indata till modellen TIMES-Nordic där det sker en fördelning på olika typer av bränslen beroende på kostnadsjämförelse och reduktionsplikt.

¹⁰⁵ Elanvändning i Sverige, GWh efter användningsområde och år 2022. https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START__EN__EN0105__EN0105A/EIAnvSNI2007Ar/table/tableViewLayout1/ (hämtad 2024-03-07)

¹⁰⁶ Skogsstyrelsen, Skogliga konsekvensanalyser, <https://www.skogsstyrelsen.se/mer-om-skog/skogliga-konsekvensanalyser/> (2024-11-27)

¹⁰⁷ SCB. 2007. Modellskattning av energianvändningen inom skogssektorn

Tabell 20. Totalt diesel-, bensin- och elbehov inom skogsbruket för arbetsmaskiner för olika scenarier, GWh.

	Beslutad policy			Lokal miljöhänsyn			Globalt miljöperspektiv			Regional försörjning			Internationell tillväxt		
År	Diesel	Bensin	El	Diesel	Bensin	El	Diesel	Bensin	El	Diesel	Bensin	El	Diesel	Bensin	El
2022	1 416	23		1 416	23		1 416	23		1 416	23		1 416	23	
2025	1 392	16	0	1 332	17	0	993	7	0	1 468	21	0	1 468	21	0
2030	1 374	16	7	1 326	18	6	866	6	4	1 446	20	7	1 446	20	7
2035	1 220	20	30	1 291	26	13	841	7	20	1 448	24	14	1 403	24	34
2040	1 197	19	61	1 348	24	26	997	11	51	1 481	23	29	1 388	21	71
2045	1 065	16	122	1 330	23	40	821	10	94	1 490	23	44	1 268	19	145
2050	955	13	187	1 313	19	68	745	8	145	1 486	20	76	1 156	16	226
2055	911	12	224	1 274	17	104	747	6	182	1 475	18	120	1 128	15	277
2060	895	11	240	1 119	16	189	750	7	200	1 316	17	222	1 136	15	304

I övrigt antas energianvändning av förädlade trädbränslen, el och flis för uppvärmning av skogsplantaskolor vara konstant fram till 2060.

B.3.8 Energianvändning i jordbruket

Energianvändningen i jordbruket består av el och bränslen för uppvärmning samt drivmedel för jordbrukets fordon och maskiner.

Scenarier för jordbrukets energianvändning grundar sig på Jordbruksverkets scenarier¹⁰⁸ framtagna 2022. Jordbruksverket använder modellen SASM för att göra scenarier för jordbrukets produktionsutveckling till 2050. Efter 2050 antas en linjär utveckling fram till 2060. Det som skiljer de olika scenarierna åt inom jordbruket är elektrifieringstakten för arbetsmaskiner. Scenarierna *Beslutad policy*, *Globalt miljöperspektiv* och *Internationell tillväxt* har hög elektrifieringstakt medan scenario *Lokal miljöhänsyn* och *Regional försörjning* har medelhög elektrifieringstakt, se kapitel Elektrifiering av arbetsmaskiner.

Jordbruket är en sektor med olika produktionsinriktningar. För växtodling är det framför allt traktordrift vid odling och skörd samt torkning av spannmål som är energikrävande. För djurhållning varierar det mellan olika djurslag men generellt är belysning och uppvärmning samt mjölkkyllning på mjölkgårdar de mest energiintensiva delarna. För växthusföretag utgör uppvärmning den absolut största delen av energianvändningen.

Energianvändningen i jordbruket består till stor del av användning av dieselolja i arbetsmaskiner. Uppskattningsvis går cirka 25 procent av denna dieselanvändning till stationär förbränning för djurhållning, exempelvis gödselskrapa eller foderomblandare, och 75 procent till mobila arbetsmaskiner vid exempelvis odling och skörd. Resterande energianvändning, främst el, biobränsle och olja går till uppvärmning och belysning för djurhållning. Ett exempel är värmeslingor i golvet vid smågrisuppfödning.

Utvecklingstakten för mängden diesel i växtodling beräknas med hjälp av antagen dieselförbrukning (liter per hektar) för olika jordbruksarealer¹⁰⁹ och Jordbruksverkets scenario (hektar). Denna utvecklingstakt appliceras sedan på 75 procent av dieselanvändningen i jordbruket.

Energiförbrukning för olika typer av djur är ganska svårt att få fram. Det har gjorts ett antal energikartläggningar¹¹⁰ men resultaten varierar relativt mycket. De antaganden som Energimyndigheten gör om energianvändning för olika typer av djur (kWh/år och djur) kan därför betraktas som mycket osäkra.

Utvecklingstakten för djurhållning beräknas med hjälp av energianvändningen för olika typ av djur och antal djur från Jordbruksverkets scenario. I scenarierna antas all annan energianvändning i sektorn gå till djurproduktion. När det gäller djurproduktion antas att 25 procent av dieselanvändningen i sektorn går till djurhållning.

Tabell 21 visar energianvändningen för diesel, bensin och el. Detta läggs in som indata till modellen TIMES-Nordic där det sker en fördelning på olika typer av bränslen beroende på kostnadsjämförelse och reduktionsplikt. All annan energianvändning redovisas i Bilaga A – Resultatbilaga.

¹⁰⁸ Mejlkontakt med Per Bodin på Jordbruksverket, 2022-09-23.

¹⁰⁹ Baky A., Sundberg M., Brown N. (2010) Kartläggning av jordbrukets energianvändning.

¹¹⁰ Edström m.fl. (2005) Jordbrukssektorns energianvändning, Neuman (2009) Kartläggning av energianvändning på lantbruk 2008, Hörndahl (2007) Energiförbrukning i jordbrukets driftsbyggnader, Elmquist m.fl. (2015) Energinyckeltal inom lantbruk och potentialen att spara energi utifrån energikartläggningar.

Tabell 21. Diesel-, bensin- och elbehov för arbetsmaskiner inom jordbruket för de olika scenarierna, GWh.

År	Beslutad policy, Globalt miljöperspektiv och Internationell tillväxt			Lokal Miljöhänsyn och Regional försörjning		
	Diesel	Bensin	El	Diesel	Bensin	El
2022	2 465	28	0	2 465	28	0
2025	2 422	28	0	2 422	28	0
2030	2 209	23	29	2 260	23	6
2035	2 081	21	50	2 136	21	25
2040	1 904	18	94	2 031	19	37
2045	1 728	13	145	1 927	15	55
2050	1 505	6	218	1 787	11	90
2055	1 242	3	308	1 576	7	157
2060	944	3	413	1 301	5	251

B.3.9 Energianvändningen i byggsektorn

Energianvändningen för byggsektorn utgår från en undersökning av byggsektorns energianvändning år 2022.¹¹¹ Energianvändningen är fördelad per energivara inom sektorn exklusive vägtransporter. För utvecklingen framåt skattas energianvändningen med förändringen i arbetade timmar i byggsektorn. Om arbetade timmar ökar med en procent ökar också energianvändningen med en procent. Arbetade timmar för byggsektorn finns i de scenarier som Konjunkturinstitutet gör till Energimyndigheten. I scenarierna används samma modell att uppskatta energianvändningen.

Förutom skillnad i arbetade timmar i de olika scenarierna skiljer sig elektrifieringstakten för arbetsmaskiner i de olika scenarierna. Scenarierna *Beslutad policy, Globalt miljöperspektiv* och *Internationell tillväxt* har hög elektrifieringstakt medan *scenario Lokal miljöhänsyn* och *Regional försörjning* har medelhög elektrifieringstakt, se kapitel Elektrifiering av arbetsmaskiner. Energianvändningen för arbetsmaskiner läggs sedan in som indata till modellen TIMES-Nordic. I modellen sker en fördelning på olika typer av bränslen beroende på kostnadsjämförelse och reduktionsplikt. Tabell 22 visar total användning av diesel, bensin och el för olika scenarier.

¹¹¹ Energianvändningen inom byggsektor, <https://www.energimyndigheten.se/statistik/officiell-energistatistik/tillforsel-och-anvandning/energianvandningen-inom-byggsektorn/?currentTab=0> (hämtad 2024-12-16)

Tabell 22. Diesel-, bensin- och elbehov för arbetsmaskiner inom byggsektorn för de olika scenarierna, GWh.

	Beslutad policy			Lokal miljöhänsyn			Globalt miljöperspektiv och Internationell tillväxt			Regional försörjning		
År	Diesel	Bensin	El	Diesel	Bensin	El	Diesel	Bensin	El	Diesel	Bensin	El
2022	2 299	123		2 299	123		2 299	123		2 299	123	
2025	2 248	121	66	2 295	123	44	2 248	121	66	2 296	123	44
2030	1 420	89	530	2 042	111	243	1 422	89	531	2 045	112	244
2035	1 043	70	764	1 861	105	384	1 046	70	766	1 869	106	385
2040	528	39	1 022	1 410	85	605	531	39	1 027	1 424	86	611
2045	190	14	1 217	797	48	927	192	14	1 227	807	49	939
2050	58	3	1 312	408	20	1 142	59	3	1 326	415	20	1 161
2055	16	1	1 329	195	7	1 238	17	1	1 346	199	8	1 262
2060	4	0	1 331	92	3	1 284	4	0	1 353	94	3	1 312

B.3.10 Energianvändningen i fiskesektorn

Energianvändningen är relativt liten i fiskesektorn och antas vara konstant under perioden.

B.4 Transportsektorn

Transportsektorn innefattar fyra trafikslag: vägtrafik, bantrafik, sjöfart (inrikes och utrikes) och luftfart (inrikes och utrikes). Energimyndigheten tar fram scenarier för alla dessa trafikslag. Arbetsmaskiner som i vissa fall tangerar transportsektorn ingår i bostäder- och servicesektorn och industrisektorn då det är där deras faktiska energianvändning finns.

För att utveckla de långsiktiga scenarierna har det skett ett centralt skifte i metoden för transportsektorn. Tidigare användes en ”bottom-up-metod” för att ta fram en bedömning av den framtida energianvändningen för transporter. Detta tillvägagångssätt tog inte hänsyn till det samspel med andra sektorer som blir allt viktigare. I den nya metoden används i stället en särskild transportmodul som en del av den teknoekonomiska modelleringen i TIMES för att ge detta helhetsperspektiv på systemet. För att ge en mer detaljerad bild av kortsiktiga förändringar i sektorn har Energi-myndighetens kortsiktiga prognos¹¹² använts för att ge årliga värden till 2028, från vilka en interpolering har använts för att möta 2030-värdet som tillhandahålls av Times-Nordic.

Transportmodulen i TIMES-modellen hanterar både hur fordonsflottan utvecklas över tid och vilka energibärare som skulle användas av denna fordonsflotta för att möta det transportarbete som krävs. För att uppnå detta finns det ett antal grundantaganden som används:

6. Transportarbete per typ av fordon;
7. Fordonsteknikens energiprestanda;
8. Styrmedel som påverkar sammansättning och val av bränslen/fordonsteknik;
9. Parametrar som påverkar utvecklingen av fordonsflottan (fordons inköps- och drivskostnad och livslängd).

I följande avsnitt ges en detaljerad beskrivning av detta underlag.

¹¹² Kortsiktiga prognoser, <https://www.energimyndigheten.se/energisystem-och-analys/framtidens-energisystem/kortsiktiga-prognoser/>

B.4.1 Transportarbete per typ av fordon

Transportarbetet i sin helhet har baserats på Trafikverkets Basprognos 2045¹¹³, efter 2045 har samma utvecklingstakt i förhållande till befolkning antagits fortsätta till 2060. Scenariot *Regional försörjning* kan betraktas som referensscenario för trafikarbetet, från vilket de andra scenarierna justeras. Tabell 23 visar utvecklingstakten för detta scenario från basåret 2022.

Tabell 23. Transportarbetets utveckling i Regional försörjning (2022 = 1).

Regional försörjning	Enhet	2022	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Personbilar	person-kilometer	1	1,06	1,10	1,15	1,21	1,26	1,32	1,36	1,40
Bussar	person-kilometer	1	1,02	1,03	1,05	1,06	1,08	1,10	1,11	1,12
MC	person-kilometer	1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Järnväg (urban)	person-kilometer	1	1,08	1,15	1,23	1,31	1,40	1,48	1,56	1,62
Järnväg (andra)	person-kilometer	1	1,09	1,18	1,27	1,37	1,47	1,58	1,67	1,74
Tunga lastbilar	tonkilometer	1	1,10	1,19	1,29	1,40	1,52	1,63	1,73	1,82
Tunga lastbilar	Fordon kilometer	1	1,08	1,15	1,23	1,31	1,40	1,48	1,56	1,62
Lätta lastbilar	Fordon kilometer	1	1,07	1,13	1,19	1,26	1,33	1,40	1,46	1,50
Järnväg	tonkilometer	1	1,07	1,12	1,19	1,25	1,32	1,39	1,44	1,49
Inrikes luftfart	person-kilometer	1	0,72	1,01	1,01	1,02	1,02	1,02	1,03	1,03
Utrikes luftfart	rörelseenergi	1	1,00	1,04	1,07	1,09	1,11	1,13	1,15	1,16
Inrikes sjöfart	person-kilometer	1	0,97	0,94	0,91	0,89	0,86	0,84	0,82	0,79
Utrikes sjöfart	rörelseenergi	1	1,04	1,07	1,10	1,13	1,17	1,20	1,23	1,25

Utvecklingen av transportarbetet i *Regional försörjning* justeras för att representera de andra scenarierna. Det justerade transportarbetet per scenario visas i Tabell 24.

- I *Globalt miljöperspektiv* och *Internationell tillväxt*, med hög BNP (en ökning med 14 procent 2050 jämfört med 2020), har en motsvarande ökning av transportarbetet tillämpats på tunga lastbilar, järnvägsfrakt och både inrikes och utrikes sjöfart.
- I *Lokal miljöhänsyn*, med höga ETS-priser, antas en mindre minskning (under en procent) av BNP och därmed en ekvivalent minskning av transportarbetet i tunga lastbilar, järnvägsfrakt och både inrikes och utrikes sjöfart.
- I *Lokal miljöhänsyn* och *Globalt miljöperspektiv*, med fokus på att utveckla ett transport-effektivt samhälle, begränsas utvecklingen av transportarbetet i personbilar till att vara i linje med befolkningsökningen, och att den ytterligare ökningen (som finns i de andra scenarierna) i stället utförs med kollektivtrafik.

¹¹³ Basprognoser – Bransch

Tabell 24. Transportarbetets utveckling i *Lokal miljöhänsyn*, *Globalt miljöperspektiv*, och *Internationell tillväxt* (2022 = 1).

	Enhet	2022	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Lokal miljöhänsyn										
Personbilar	person-kilometer	1	1,03	1,04	1,06	1,07	1,09	1,10	1,12	1,13
Bussar	person-kilometer	1	1,03	1,06	1,09	1,12	1,15	1,17	1,20	1,22
Järnväg (urban)	person-kilometer	1	1,08	1,16	1,24	1,32	1,41	1,50	1,58	1,64
Järnväg (andra)	person-kilometer	1	1,10	1,20	1,31	1,43	1,55	1,67	1,78	1,86
Tunga lastbilar	tonkilometer	1	1,10	1,19	1,29	1,39	1,51	1,62	1,73	1,81
Tunga lastbilar	Fordon kilometer	1	1,13	1,21	1,29	1,37	1,46	1,55	1,63	1,69
Lätta lastbilar	Fordon kilometer	1	1,03	1,04	1,06	1,07	1,09	1,10	1,12	1,13
Järnväg	tonkilometer	1	1,07	1,12	1,18	1,25	1,31	1,38	1,44	1,48
Inrikes luftfart	person-kilometer	1	0,72	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01
Utrikes luftfart	rörelseenergi	1	1,00	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04
Inrikes sjöfart	personkilo-meter	1	0,97	0,94	0,91	0,89	0,86	0,84	0,81	0,79
Utrikes sjöfart	rörelseenergi	1	1,04	1,07	1,10	1,13	1,16	1,20	1,22	1,24
Globalt miljöperspektiv										
Personbilar	person-kilometer	1	1,03	1,04	1,06	1,07	1,09	1,10	1,12	1,13
Bussar	person-kilometer	1	1,03	1,06	1,09	1,12	1,15	1,17	1,20	1,22
Järnväg (urban)	person-kilometer	1	1,08	1,16	1,24	1,32	1,41	1,50	1,58	1,64
Järnväg (andra)	person-kilometer	1	1,10	1,20	1,31	1,43	1,55	1,67	1,78	1,86
Tunga lastbilar	tonkilometer	1	1,11	1,23	1,36	1,51	1,68	1,86	2,04	2,20
Tunga lastbilar	Fordon kilometer	1	1,14	1,24	1,36	1,49	1,63	1,78	1,93	2,06
Lätta lastbilar	Fordon kilometer	1	1,03	1,04	1,06	1,07	1,09	1,10	1,12	1,13
Järnväg	tonkilometer	1	1,07	1,16	1,25	1,35	1,47	1,58	1,70	1,81
Inrikes luftfart	personkilo-meter	1	0,72	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01
Utrikes luftfart	rörelseenergi	1	1,00	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04
Inrikes sjöfart	person-kilometer	1	0,97	0,97	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96
Utrikes sjöfart	rörelseenergi	1	1,04	1,10	1,16	1,22	1,30	1,37	1,45	1,52

	Enhet	2022	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Internationell tillväxt										
Personbilar	person-kilometer	1	1,06	1,10	1,15	1,21	1,26	1,32	1,36	1,40
Bussar	person-kilometer	1	1,02	1,03	1,05	1,06	1,08	1,10	1,11	1,12
Järnväg (urban)	person-kilometer	1	1,08	1,15	1,23	1,31	1,40	1,48	1,56	1,62
Järnväg (andra)	person-kilometer	1	1,09	1,18	1,27	1,37	1,47	1,58	1,67	1,74
Tunga lastbilar	tonkilometer	1	1,11	1,23	1,36	1,51	1,68	1,86	2,04	2,20
Tunga lastbilar	Fordon kilometer	1	1,14	1,24	1,36	1,49	1,63	1,78	1,93	2,06
Lätta lastbilar	Fordon kilometer	1	1,07	1,13	1,19	1,26	1,33	1,40	1,46	1,50
Järnväg	tonkilometer	1	1,07	1,16	1,25	1,35	1,47	1,58	1,70	1,81
Inrikes luftfart	person-kilometer	1	0,72	1,01	1,01	1,02	1,02	1,02	1,03	1,03
Utrikes luftfart	rörelseenergi	1	1,00	1,04	1,07	1,09	1,11	1,13	1,15	1,16
Inrikes sjöfart	person-kilometer	1	0,97	0,97	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96
Utrikes sjöfart	rörelseenergi	1	1,04	1,10	1,16	1,22	1,30	1,37	1,45	1,52

Utöver detta finns en egenpriselasticitet (hur trafikarbetet påverkas av transportpriset) för personbils- och lastbilstrafik. Egenpriselasticiteten med avseende på körkostnaderna antas vara $-0,25$ för personbilstrafiken och $-0,2$ för lastbilstrafiken. Med körkostnader avses här de totala körkostnaderna, d.v.s. både fasta och rörliga kostnader, för de specifika fordons-teknikerna och drivmedlen.

B.4.2 Fordonsteknikens energiprestanda

Transportmodellen har för basåret kalibrerats så att energianvändningen per fordonsteknik överensstämmer med energianvändningsstatistiken. För dessa har effektivitetsförbättringar tillämpats över den modellerade perioden:

- För vägtransport finns effektivisering av nya fordon tack vare teknikförbättring, till exempel minskade energiförluster i motorn och lägre fordonsvikt. Effektiviseringen ligger mellan 6 procent och 17 procent, från 6 procent för nya dieseldrivna tunga lastbilar till 17 procent för nya eldrivna personbilar.
- För sjöfart antas en linjär utveckling till en förbättring med 30 procent till 2050 jämfört med 2015 års nivåer. Detta baseras på kraven från International Maritime Organization (IMO)¹¹⁴ som anger att fartygens energieffektivitet gradvis ska förbättras och att fartyg som byggs 2025 ska vara 30 procent mer energieffektiva än de som byggdes mellan 2000–2010. En liknande energieffektiviseringstakt antas fortsätta efter 2050.
- För luftfart antas tekniska förbättringar av flygplanen förbättra energieffektiviteten med 30 procent fram till 2050 och att andra åtgärder (förbättringar av flygtrafikledning och

¹¹⁴ Improving the energy efficiency of ships

flygplansoperationer osv.) förbättrar effektiviteten med ytterligare tio procent, i linje med Destination 2050¹¹⁵. En liknande energieffektiviseringstakt antas fortsätta efter 2050.

- För bantrafik antas en 16-procentig effektivitetsökning avseende elanvändning per person-kilometer under perioden 2015–2060.

B.4.3 Styrmedel som påverkar sammansättning och val av bränslen/fordonsteknik

I Tabell 25 listas de styrmedel i transportsektorn utöver skatt och priser som specificeras som övergripande antaganden. Dessa styrmedel ger begränsningar och krav på minskning av växthusgasintensitet, inblandning av biobränslen, och val av fordonsteknik.

Tabell 25. Styrmedel i transportsektorn.

Styrmedel	Hur styrmedlen implementeras i modellen
Reduktionsplikt	En reduktionsplikt på tio procent för både bensin och diesel har antagits för hela scenarioperioden. Utöver inblandning av bränsle kan modellen uppfylla kraven med motsvarande utsläppsbesparingar som från tio procent av den el som används för vägtransporter (den som antas laddas vid publika laddningsstationer).
Skattebefrielse för rena och höginblandade biobränslen	För de flesta scenarier gäller skattebefrielsen för rena och höginblandade biodrivmedel under hela perioden, utom för scenarier <i>Globalt miljöperspektiv och Internationell tillväxt</i> där den antas tas bort före 2030.
EU Fuel Maritime	Lägsta minskning växthusgasintensitet och lägsta andel syntetiska bränslen antas följa förordningen. 90 procent av utrikes sjöfart och 63 procent av inrikes sjöfart antas omfattas av direktivet.
ReFuelEU Aviation	Lägsta inblandning av förnybart bränsle och syntetiskt bränsle följas förordningen. 100 procent av utrikes luftfart och 75 procent av inrikes luftfart. antas omfattas av direktivet.
CO2-krav för tunga fordon	Lägsta andel tunga nollemissionsfordon (el- eller vätgasdrivna) i nyförsäljning antas vara 35 procent 2030, 55 procent 2035 och 80 procent 2040 och framåt.
ICE nyförsäljning förbud för lätta fordon	Förbud för nyförsäljning av förbränningsmotorfordon (personbilar och lätta lastbilar) från 2035. Eventuella undantag för e-bränslen (elektrobränslen) bortses ifrån här då det bedöms ha liten inverkan på valet av lätta fordon.

B.4.4 Parametrar som påverkar utvecklingen av fordonsflottan

Vägfordon

Fram till 2030 har en bedömning av utvecklingen av vägfordons trafikarbete gjorts av en arbetsgrupp bestående av Trafikverket, Trafikanalys och Energimyndigheten, med justeringar för *Lokal miljöhänsyn* med hänsyn taget till högre ETS-priserna.

Efter 2030 bedöms utvecklingen i TIMES-modellen baserat på relativ inköpskostnad och driftskostnad för nya fordon i jämförelse med ett likvärdigt bensin- eller dieselfordon.

Transportmodulen är uppbyggd med antagandet att alla olika fordonstekniker inom en fordonstyp är jämförbara i storlek och användning. Modulen antar till exempel att en bensinbil är lika stor som en dieselbil och körs lika många kilometer. Undantaget är tunga lastbilar där det finns en särskild uppdelning för olika storlek på batterier och även en gräns

¹¹⁵ <https://www.destination2050.eu/>

för hur stor andel av transportarbetet (15 procent) som inte kan uppfyllas av elektriska tunga lastbilar. I *Globalt miljöperspektiv* och *Internationell tillväxt* har kostnaden för batteri- och bränslecellsteknik reducerats med 40 procent för samtliga vägfordon, med en ytterligare reduktion för *Internationell tillväxt* där batterielektriska personbilar antas ha nått liknande prisnivå som bensin år 2035. I Tabell 26 redovisas underlaget för det val av fordon som görs inom ramen för TIMES-Nordic-modellen.

Tabell 26. Relativa kostnaden i olika scenarier i jämförelse med den referensteknik (ref.) för inköp av nya fordon (kSEK / fordon) och deras driftskostnader (SEK/km) per fordonsslag och fordonsteknik.

Fordonsslag	Fordonsteknik	Ytterligare inköpskostnad					Driftskostnad	
		2035	2040	2045	2050	2055	2060	2020–2060
Lokal miljöhänsyn								
Personbilar	Bensin (ref.)	0	0	0	0	0	0	0,48
Personbilar	Diesel	29	27	26	26	26	26	0,48
Personbilar	Gas	25	25	25	25	25	25	0,48
Personbilar	El	37	19	0	0	0	0	0,35
Personbilar	Laddhybrid	40	32	24	24	24	24	0,48
Personbilar	Vätgas (Bränslecell)	54	46	38	38	38	38	0,46
Lätta lastbilar	Bensin (ref.)	0	0	0	0	0	0	0,48
Lätta lastbilar	Diesel	31	29	26	26	26	26	0,48
Lätta lastbilar	Gas	27	27	27	27	27	27	0,48
Lätta lastbilar	El	105	94	84	84	84	84	0,35
Lätta lastbilar	Vätgas (Bränslecell)	126	116	106	106	106	106	0,46
Tunga lastbilar	Diesel (ref.)	0	0	0	0	0	0	1,19
Tunga lastbilar	Gas	220	200	180	180	180	180	1,19
Tunga lastbilar	Vätgas (Förbränning)	265	247	228	228	228	228	1,19
Tunga lastbilar	El (350 kWh)	102	93	83	83	83	83	0,88
Tunga lastbilar	El (450 kWh)	164	152	140	140	140	140	0,88
Tunga lastbilar	El (750 kWh)	351	330	310	310	310	310	0,88
Tunga lastbilar	El (1 300 kWh)	692	657	622	622	622	622	0,88
Tunga lastbilar	Vätgas (Bränslecell)	397	326	256	256	256	256	1,14
Bussar	Diesel (ref.)	0	0	0	0	0	0	1,07
Bussar	Gas	200	200	200	200	200	200	1,07
Bussar	El	84	84	84	84	84	84	0,79
Bussar	Vätgas (Bränslecell)	567	466	366	366	366	366	1,03
Globalt miljöperspektiv								
Personbilar	Bensin (ref.)	0	0	0	0	0	0	0,48
Personbilar	Diesel	29	27	26	26	26	26	0,48
Personbilar	Gas	25	25	25	25	25	25	0,48

Fordonsslag	Fordonsteknik	Ytterligare inköpskostnad						Driftskostnad
		2035	2040	2045	2050	2055	2060	
Personbilar	El	19	10	0	0	0	0	0,35
Personbilar	Laddhybrid	24	19	14	14	14	14	0,48
Personbilar	Vätgas (Bränslecell)	32	28	23	23	23	23	0,46
Lätta lastbilar	Bensin (ref.)	0	0	0	0	0	0	0,48
Lätta lastbilar	Diesel	31	29	26	26	26	26	0,48
Lätta lastbilar	Gas	27	27	27	27	27	27	0,48
Lätta lastbilar	El	63	57	50	50	50	50	0,35
Lätta lastbilar	Vätgas (Bränslecell)	76	70	64	64	64	64	0,46
Tunga lastbilar	Diesel (ref.)	0	0	0	0	0	0	1,19
Tunga lastbilar	Gas	220	200	180	180	180	180	1,19
Tunga lastbilar	Vätgas (Förbränning)	265	247	228	228	228	228	1,19
Tunga lastbilar	El (350 kWh)	61	56	50	50	50	50	0,88
Tunga lastbilar	El (450 kWh)	99	91	84	84	84	84	0,88
Tunga lastbilar	El (750 kWh)	210	198	186	186	186	186	0,88
Tunga lastbilar	El (1 300 kWh)	415	394	373	373	373	373	0,88
Tunga lastbilar	Vätgas (Bränslecell)	238	196	154	154	154	154	1,14
Bussar	Diesel (ref.)	0	0	0	0	0	0	1,07
Bussar	Gas	200	200	200	200	200	200	1,07
Bussar	El	50	50	50	50	50	50	0,79
Bussar	Vätgas (Bränslecell)	340	280	220	220	220	220	1,03
Regional försörjning								
Personbilar	Bensin (ref.)	0	0	0	0	0	0	0,48
Personbilar	Diesel	29	27	26	26	26	26	0,48
Personbilar	Gas	25	25	25	25	25	25	0,48
Personbilar	El	37	19	0	0	0	0	0,35
Personbilar	Laddhybrid	40	32	24	24	24	24	0,48
Personbilar	Vätgas (Bränslecell)	54	46	38	38	38	38	0,46
Lätta lastbilar	Bensin (ref.)	0	0	0	0	0	0	0,48
Lätta lastbilar	Diesel	31	29	26	26	26	26	0,48
Lätta lastbilar	Gas	27	27	27	27	27	27	0,48
Lätta lastbilar	El	105	94	84	84	84	84	0,35
Lätta lastbilar	Vätgas (Bränslecell)	126	116	106	106	106	106	0,46
Tunga lastbilar	Diesel (ref.)	0	0	0	0	0	0	1,19
Tunga lastbilar	Gas	220	200	180	180	180	180	1,19

Fordonsslag	Fordonsteknik	Ytterligare inköpskostnad					Driftskostnad	
		2035	2040	2045	2050	2055	2060	2020–2060
Tunga lastbilar	Vätgas (Förbränning)	265	247	228	228	228	228	1,19
Tunga lastbilar	El (350 kWh)	102	93	83	83	83	83	0,88
Tunga lastbilar	El (450 kWh)	164	152	140	140	140	140	0,88
Tunga lastbilar	El (750 kWh)	351	330	310	310	310	310	0,88
Tunga lastbilar	El (1 300 kWh)	692	657	622	622	622	622	0,88
Tunga lastbilar	Vätgas (Bränslecell)	397	326	256	256	256	256	1,14
Bussar	Diesel (ref.)	0	0	0	0	0	0	1,07
Bussar	Gas	200	200	200	200	200	200	1,07
Bussar	El	84	84	84	84	84	84	0,79
Bussar	Vätgas (Bränslecell)	567	466	366	366	366	366	1,03
Internationell tillväxt								
Personbilar	Bensin (ref.)	0	0	0	0	0	0	0,48
Personbilar	Diesel	29	27	26	26	26	26	0,48
Personbilar	Gas	25	25	25	25	25	25	0,48
Personbilar	El	0	0	0	0	0	0	0,35
Personbilar	Laddhybrid	24	19	14	14	14	14	0,48
Personbilar	Vätgas (Bränslecell)	32	28	23	23	23	23	0,46
Lätta lastbilar	Bensin (ref.)	0	0	0	0	0	0	0,48
Lätta lastbilar	Diesel	31	29	26	26	26	26	0,48
Lätta lastbilar	Gas	27	27	27	27	27	27	0,48
Lätta lastbilar	El	63	57	50	50	50	50	0,35
Lätta lastbilar	Vätgas (Bränslecell)	76	70	64	64	64	64	0,46
Tunga lastbilar	Diesel (ref.)	0	0	0	0	0	0	1,19
Tunga lastbilar	Gas	220	200	180	180	180	180	1,19
Tunga lastbilar	Vätgas (Förbränning)	265	247	228	228	228	228	1,19
Tunga lastbilar	El (350 kWh)	61	56	50	50	50	50	0,88
Tunga lastbilar	El (450 kWh)	99	91	84	84	84	84	0,88
Tunga lastbilar	El (750 kWh)	210	198	186	186	186	186	0,88
Tunga lastbilar	El (1 300 kWh)	415	394	373	373	373	373	0,88
Tunga lastbilar	Vätgas (Bränslecell)	238	196	154	154	154	154	1,14
Bussar	Diesel (ref.)	0	0	0	0	0	0	1,07
Bussar	Gas	200	200	200	200	200	200	1,07
Bussar	El	50	50	50	50	50	50	0,79
Bussar	Vätgas (Bränslecell)	340	280	220	220	220	220	1,03

Omsättningstakten baseras på historisk genomsnittlig livslängd av fordon enligt Trafikanalys statistik över vägfordonsflottan¹¹⁶. Tabell 27 innehåller både den antagna livslängden för de olika fordonstyperna och den tillhörande omsättningen under varje modellerad 5-årsperiod.

Tabell 27. Modellerade fordonslivslängd (års) och andel av flottan som omsätts i varje 5-årsperiod.

Fordonsslag	Fordonslivslängd (års)	5-års flottans omsättning (andel)
Personbilar	15	33 %
Lätta lastbilar	12	42 %
Tunga lastbilar	8	63 %
Bussar	8	63 %

Sjöfart, luftfart, och bantrafik

Inom sjöfart, luftfart och bantrafik används TIMES-modellen för att fastställa den ekonomiskt effektiva utvecklingen av de olika fordonsflottorna.

För sjöfart finns det en osäkerhet kring det framtida drivmedelsvalet och det är känsligt för produktionskostnaden för alternativa bränslen. Modellen ger möjlighet att välja bränsle inom olja, biodiesel, LNG/LBG, metanol, elektrobränsle (ospecificerade) eller eldrift baserat på den relativa fartygskostnaden och livstidskostnaden för bränslet/elen.

För både flyg och järnväg finns inga alternativ för fordonsteknikbyte i modellen. Denna bedömning är en generalisering av tekniska utmaningar i luftfart med vikt och energitäthet för att använda el- eller vätgasteknik i en stor utsträckning. För järnväg handlar det om ekonomin för elektrifiering av de utestående sträckorna. Därför används inblandning av förnybara drivmedel (både biobränsle och elektrobränsle) som metod för att minska koldioxidutsläppen i dessa sektorer.

MC och A-traktorer

MC och A-traktorer är modellerade utanför TIMES-modellering med följande antaganden:

- Samma trafikutvecklingstakt antas för motorcykel och A-traktorer som för personbilar.
- Under perioden 2022 till 2060 ökar elektrifieringen från 0,1 procent till 43 procent för motorcyklar och från 0 procent till 63 procent för A-traktorer.
- Utfasning av diesel som en bränsleteknik i a-traktorer mellan 2030 och 2040.

B.5 Industrisektorn och raffinaderier

Industrisektorns, inklusive raffinaderier, energianvändning inom de långsiktiga scenarierna omfattar samtliga branscher med SNI B05–09 samt C10–33. För den resulterande energianvändningen har statistik använts fram till år 2023, resultat från Energimyndighetens kortsiktsprognos till 2028 och resultat från analysen inom arbetet för de långsiktiga scenarierna från 2030–2060.

¹¹⁶ Fordon 2023 (Trafikanalys Statistik 2024:2)

Som en del i utvecklingen av Energimyndighetens långsiktiga scenarier har industrisektorn (precis som transportsektorn) nu inkluderats i modellen TIMES-Nordic. Inkluderingen av samtliga sektorer medför att kopplingen mellan energisystemets olika sektorer förbättras. Detta innebär att valet av vilken energibärare som används inom industrin (och övriga sektorer) i mycket större utsträckning blir ett resultat av antagna bränslepriser, skatter och andra styrmedel. Tidigare har industrins energianvändning baserats på KI:s framtagna förädlingsvärde och bedömningar av projekt och fördelningen av specifika energibärare för industrisektorn baserats på bedömningar.

Med den nya metoden görs fortsatt bedömningar av de förutsättningarna som sätter ramarna för industrins framtida totala energianvändning, där tillvägagångssättet skiljer sig mellan de olika branscherna. Beroende på bransch baseras total energianvändning på antingen KI:s framtagna bruttoproduktion, bedömningar av tillkommande och nuvarande produktion av varor, skogsbrukets utveckling eller bedömningar av enskilda projekt. Dessa antaganden blir sen indata till TIMES Nordic som ger en resulterande användning av olika tekniker och en fördelning av energibärare som i större utsträckning utgår från styrmedelsantaganden och bränslepriser. Undantag görs framför allt för större industriprojekt med väldefinierade planer. Det innebär att alla sektorer behandlas lika (alla sektorer ser samma prissignaler) vilket minskar den osäkerhet som rena bedömningar medför.

B.5.1 Framskrivning av industrins utveckling

På grund av industrisektorns heterogena natur hanteras framskrivningen av olika branschers utveckling på olika sätt. Industrins utveckling beskrivs därför antingen som en utveckling av produktionsvolym(er) eller som en utveckling av total slutlig energianvändning. Uppdelningens görs för att funktionaliteten i TIMES-Nordic ska kunna utnyttjas så mycket som möjligt.

Metoden för att ta fram produktionsnivåer varierar beroende på varje branschs specifika förutsättningar. För sektorerna som använder produktionsvolym av varor som bas för att beskriva utvecklingen framåt finns en detaljerad representation av olika produktionstekniker i TIMES-Nordic. Givet en viss produktionsvolym har därmed modellen möjlighet att investera i olika produktionstekniker som använder energi, typiskt el och bränslen, för att producera ett material. På så sätt bestämmer modellen vilka energibärare som bör utnyttjas för att nå den lägsta systemkostnaden. För övriga sektorer är det total slutlig energianvändning som skrivs fram. Den totala energianvändningen fördelas därefter mellan elanvändning, värme samt bränslen.

Detta angreppssätt för framskrivningen av industrins utveckling möjliggör för modellen att endogent besluta vilken typ av bränslen som bör användas baserat på kostnadsdata för olika bränsleproduktionstekniker och antagna bränslepriser för att uppnå den lägsta totalkostnaden för hela energisystemet. För att uppfylla efterfrågan på el och värme har modellen möjlighet att endogent besluta vilka produktionstekniker för el och värme som ger den minsta kostnaden för energisystemet.

Tre olika metoder används för att beskriva den framtida utvecklingen av industrin. De tre metoderna är projektspecifik utveckling, konjunktursstyrd utveckling och branschspecifik utveckling. Vilken metod som används beror på sektorsspecifika förutsättningar. Tabell 28 visar framskrivningsparameter och framskrivningsmetod för varje sektor.

Tabell 28. Översikt av framskrivningsparameter och framskrivningsmetod för olika branscher.

SNI	Beskrivning	Parameter	Framskrivningsmetod
05–09	Utvinning av mineraler	Produktionsvolym	Projektbaserad
10–15	Livsmedel och textil	Energianvändning	Konjunktur
16	Trävaruindustri	Energianvändning	Branschspecifik
17	Massa- och pappers-industri	Energianvändning	Branschspecifik
18	Grafisk industri	Energianvändning	Konjunktur
19	Raffinaderier	Energianvändning	Projektbaserad
20–22	Kemiindustri	Energianvändning	Konjunktur, projektbaserad
23	Jord- och stenindustri	Produktionsvolym (cement), energianvändning	Projektbaserad (cement), Konjunktur (övriga)
241–243	Järn- och stålindustri	Produktionsvolym	Projektbaserad, branschspecifik
244–245	Metallverk	Energianvändning	Konjunktur
25–30	Verkstadsindustri	Energianvändning	Konjunktur, projektbaserad (batterifabriker)
31–33	Övriga branscher	Energianvändning	Konjunktur

Projektspecifik utveckling

Projektspecifika utvecklingstakter används för större industrisatsningar. Projektens omfattning baseras på omvärldsanalys och bedömningar av projektens möjlighet till genomförande.

Projekt som inkluderas kan typiskt klassas in på en eller flera av följande beskrivningar:

- Större anläggningar som specifikt aviserat sina planer på att ställa om befintlig industri men med bibehållen eller ökad produktion.
- Större nyetableringar inom industrin, där nya aktörer vill etablera sig i Sverige och på så sätt öka den industriella produktionen i landet.
- Större anläggningar som aviserat planer på att öka sitt förädlingsvärde genom att utöka värdekedjor och ytterligare förädla de produkter som produceras i dagsläget.

Vilka projekt som inkluderas i ett scenario beror på förutsättningarna i varje scenario.

I *Beslutad policy* inkluderas samma projekt som i Energimyndighetens kortsiktsprognoser fram till 2030. Fram till 2030 följer scenarierna därmed samma kriterier för urval, dvs. de flesta kritiska tillstånden måste vara på plats för att inkluderas. För perioden 2030–2050 inkluderas endast aviserade industriprojekt vars genomförande kräver liknande miljötillstånd som redan godkänts. I de utforskande scenarierna inkluderas fler eller färre projekt beroende på scenarioförutsättningarna, vilket avspeglas i antagna produktionsvolym och slutlig energianvändning.

För oljeraffinaderier, bioraffinaderier och elektrobränsleproduktion inkluderas enbart produktionskapacitet som är beslutad med samtliga tillstånd på plats och är lika stor i samtliga scenarier. Den potentiella utbyggnaden av ytterligare kapacitet bestäms endogen av TIMES-Nordic utifrån de scenariospecifika förutsättningarna som ges.

Konjunkturstyrd utveckling (regressionsanalys)

För industrier som tillhör SNI C10–15, C18, C244–245, C25–33 baseras utvecklingen på konjunkturstyrda trender. Framskrivningen utgår från den modellerade ekonomiska utvecklingen som erhålls från Konjunkturinstitutets (KI) scenarioanalyser (Tabell 29). För varje sektor är det specifikt sektorns bruttoproduktion som utgör grunden utvecklingen. Genom att bestämma hur kvoten mellan energianvändning och bruttoproduktion utvecklas över tid kan utvecklingen av sektorns energianvändning skattas genom att multiplicera kvoten med KI:s resulterande bruttoproduktion. Den resulterande energianvändningen normaliseras därefter med basårsvärdet, vilket resulterar i en indextrend där energianvändningen i basåret har index 1 som går att applicera på flera olika sektorer vid behov.

Tabell 29. Resultater bruttoproduktion i 10-tals miljarder SEK från KI:s scenarier. Värderna för 2060 är extrapolerade.

Scenario	Sektor	2022	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Beslutad policy, Lokal miljöhänsyn, Regional försörjning	C10–15	20,1	19,7	20,5	21,7	24,7	27,1	30,1	33,3	36,6
	C17–18	16,5	18,7	19,3	20,3	22,8	25	27,7	30,7	33,6
	C20–22	32,8	27,1	28,4	30,4	35,1	39,4	45	51,1	57,2
	C23	5,1	5,7	6,1	6,5	7	7,5	8,2	8,9	9,5
	C24	14	16	16	16,6	18,1	19,4	21,1	22,8	24,5
	C25–30	97,8	99,6	103	108,4	124,1	137,1	152,9	168,8	184,8
	C31–33	8,7	8,8	8,9	9,2	10,4	11,4	12,6	13,8	15,1
	Basmaterial	84,9	85,5	89	94	105,3	115,5	128,2	141,7	155,1
	Övrig	126,7	128	132,5	139,2	159,2	175,7	195,5	216	236,4
Globalt miljöperspektiv, Internationell tillväxt	C10–15	20,1	19,9	21,3	23,3	27,4	31,2	35,9	41,4	46,9
	C17–18	16,5	18,8	20	21,7	25,2	28,6	33	38,1	43,2
	C20–22	32,8	27,3	29,4	32,7	39,5	46,7	56,3	67,8	79,4
	C23	5,1	5,8	6,4	6,9	7,7	8,5	9,6	10,6	11,6
	C24	14	16,1	16,6	17,7	20	22,4	25,5	28,9	32,3
	C25–30	97,8	100,4	106,7	116,1	137,8	159	185,8	215,7	245,7
	C31–33	8,7	8,9	9,2	9,8	11,4	12,8	14,6	16,6	18,6
	Basmaterial	84,9	86,2	92,1	100,6	117	133,9	155,7	180,6	205,5
	Övrig	126,7	129,2	137,3	149,1	176,6	203,1	236,3	273,7	311,1

Kvoten mellan energianvändning och bruttoproduktion över tid bestäms genom enkel regressionsanalys. Den historiska förändringen av kvoten baseras på data från officiell statistik från 1993 till 2022. Regressionsanalysens grundantagande är att kvoten avtar över tid till följd av effektivisering och att trenden antas följa en logistisk funktion (en S-kurva) enligt

$$f(x) = L \times \frac{1}{1 + e^{-k*(x-x_0)}} + c$$

där L är en skalär för kvotens våghöjd, x_0 är året där förändringstakten på kvoten är högst, c är den teoretiskt lägsta kvoten som kan uppnås, x är året som kvoten uppskattas för, k är koefficienten för kvotens förändringstakt. Linjens parametrar, regressionsparametrarna, bestäms genom optimering med målet att maximera funktionens determinationskoefficient (typiskt benämnd R^2), vilket är ett mått på hur väl funktionen beskriver observerade parametrar. De resulterande regressionsparametrarna och skattningens determinationskoefficient redovisas i Tabell 30.

Tabell 30. Regressionsparametrar för olika sektorer. Indelningen av sektorerna är den mest dissaggregerade som statistiken tillåter.

Sektor	L	x_0	k	c	r^2	Används för framskrivning av:
C10–15	1,02	1 960,05	0,02	0,04	0,890	C10–15
C17–18	8,95	1 996,55	0,00	0,10	0,135	-
C20–22	1,59	1 960,02	0,02	0,05	0,560	-
C23	4,18	1 994,29	0,06	0,12	0,94	C23 (exklusive cement)
C24	2,63	1 960,00	0,00	0,30	0,11	C244–245 ⁴
C25–30	1,51	1 960,00	0,06	0,03	0,94	C25–30
C31–33	32,06	1 960,03	0,12	0,50	0,46	-
Basindustri ²	9,58	1 980,00	0,07	0,76	0,96	C18 ¹ , C20–22
Övrig ³	1,22	1 980,00	0,07	0,06	0,89	C31–33

¹ C17 skrivs inte fram med regression. Det saknas underlag för att C18 ska hanteras separat. Då C17 och C18 historiskt slagits ihop antas C18 som basindustri.

² Inkluderar sektorerna B05–09, C16–18, C20–24.

³ Inkluderar sektorerna C10–15, C25–33.

⁴ Uppvisad trend ger en rimlig utveckling trots låg determinationskoefficient.

Branschspecifik utvecklingstrend

Branschspecifika trender antas för skogsindustrierna, delar av kemiindustrin samt delar av järn- och stålindustrin.

Skogsindustrins energianvändning (processånga, el och bränsle), främst SNI C16 (trävaruindustrin) och SNI C17 (massa- och pappersindustri), antas följa avverkningspotentialen av skog i Sverige och vara relativt okänsliga för konjunktursvängningar. Skogsavverkningspotentialen som använts i scenarierna följer Skogsstyrelsens olika scenarier inom utredningen skogliga konsekvensanalyser 2022¹¹⁷(SKA 22). I *Beslutad policy* antas trenden följa dagens skogsbruk. I de utforskande scenarierna används avverknings-scenarier som bättre matchar tematiken i varje scenario.

För delen av kemiindustrin som använder råvaror, som i energistatistiken klassas som användning för icke energiändamål, antas råvaruförbrukningen vara konstant från basåret. Anledningen till detta är att det finns för lite information om denna sektors framtidsplaner samtidigt som det är svårt att särskilja bruttoproduktionen kopplat till denna produktion från den totala bruttoproduktionen inom sektorn.

¹¹⁷ Skogsstyrelsen (2023), *Skogliga konsekvensanalyser* <https://www.skogsstyrelsen.se/miljo-och-klimat/skogliga-konsekvensanalyser/> (hämtad 2025-02-21).

För de delar av järn- och stålindustrin som inte omfattas av projektspecifik utvecklingstakt har produktionsvolymen av stålprodukter antagits vara konstant genom hela scenarioperioden. Anledningen till detta är att det inte är möjligt att särskilja bruttoproduktionen kopplat till den projektspecifika utvecklingen från den totala produktionen. I stället görs det förenklande antagandet att den ökning av bruttoproduktion över tid som KI:s analyser visar på enbart genereras av de projekt som bedöms tillkomma inom sektorn.

B.5.2 Energieffektivisering

Effektivisering av industrin är inkluderad i scenarierna. Generellt antas att effektiviseringsarbete sker kontinuerligt över tid men skillnaden i metod för framskrivning av utvecklingstakten gör att även effektivisering hanteras olika för olika sektorer.

För de sektorer vars totala energianvändning avgörs av TIMES-Nordic beror effektiviseringsgraden på vilken energiprestanda som de representerade teknikerna har. Om nya tekniker har lägre energianvändning jämfört med nuvarande teknik inom en sektor blir effektiviseringsgraden motsvarande skillnaden.

För de sektorer som skrivs fram med konjunkturbaserad utvecklingstrend fångas effektiviseringsgraden av metoden. Effektiviseringsgraden är därmed per automatik inkluderad i analysen.

För trävaruindustrin (C16) och massa- och pappersindustrin (C17) uppskattas effektiviseringsgraden med enkel regressionsanalys. Metoden följer samma metodik som framtagandet av konjunkturbaserade utvecklingstrender. Skillnaden är att utvecklingen beskrivs med statistik på den fysiska kvantiteten i stället för det ekonomiska värdet av produktionen. Tabell 31 visar effektiviseringstrenden i scenarierna. I *Lokal miljöhänsyn* och *Globalt miljöperspektiv* finns ett uttalat fokus på effektivisering. I dessa scenarier antas därför en högre effektiviseringsgrad än i övriga scenarier.

Tabell 31. Antagen effektiviseringstakt för trävaruindustrin (C16) och massa och pappersindustrin (C17).

Sektor	Scenario	2022	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
C16	Beslutad policy	1	0,96	0,91	0,85	0,8	0,76	0,72	0,68	0,65
	Lokal miljöhänsyn	1	0,95	0,88	0,81	0,75	0,69	0,64	0,59	0,55
	Globalt miljöperspektiv	1	0,95	0,88	0,81	0,75	0,69	0,64	0,59	0,55
	Regional försörjning	1	0,96	0,91	0,85	0,8	0,76	0,72	0,68	0,65
	Internationell tillväxt	1	0,96	0,91	0,85	0,8	0,76	0,72	0,68	0,65
C17	Beslutad policy	1	0,98	0,96	0,93	0,91	0,89	0,87	0,85	0,83
	Lokal miljöhänsyn	1	0,97	0,93	0,88	0,84	0,8	0,77	0,73	0,7
	Globalt miljöperspektiv	1	0,97	0,93	0,88	0,84	0,8	0,77	0,73	0,7
	Regional försörjning	1	0,98	0,96	0,93	0,91	0,89	0,87	0,85	0,83
	Internationell tillväxt	1	0,98	0,96	0,93	0,91	0,89	0,87	0,85	0,83

B.5.3 Scenarioförutsättningar

Den resulterande produktionsvolymen och energianvändningen som utgör basen för energisystemanalysen i basscenariot presenteras för de olika sektorerna.

Järn- och stålindustrin och gruvor

Tabell 32 visar antagna produktionsvolymerna för järn- och stålindustrin (C241–243) samt gruvindustrin (B05–09). Produktionsvolymerna är Energimyndighetens egna bedömningar, baserat på omvärldsanalys, statistik från Jernkontoret¹¹⁸ samt officiell statistik¹¹⁹.

Tabell 32. Antagna produktionsvolymerna i miljoner ton för järn- och stålindustrin samt gruvindustrin i samtliga scenarier.

Scenario	Efterfrågan	2022	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Beslutad policy	Järnmalms-produkter	27,0	27,0	27,0	28,1	30,7	35,9	35,9	35,9	35,9
	Järnsvamp	0	0	1,7	6,7	8,8	8,8	12,3	17,5	21,8
	Råstål	5,4	5,4	7,4	9,4	9,4	9,4	9,4	9,4	9,4
	varav från masugn	3,5	3,5	0,6	0	0	0	0	0	0
	Handelsfärdigt stål	4,6	4,6	6,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6
Lokal miljöhänsyn	Järnmalms-produkter	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0
	Järnsvamp	0	0	1,7	3	3	3	3	3	3
	Råstål	5,4	5,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4
	varav från masugn	3,5	3,5	0,6	0	0	0	0	0	0
	Handelsfärdigt stål	4,6	4,6	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6
Globalt miljöperspektiv	Järnmalms-produkter	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0
	Järnsvamp	0	0	3,4	8,5	17,5	21,8	21,8	21,8	21,8
	Råstål	5,4	5,4	9,4	9,4	9,4	9,4	9,4	9,4	9,4
	varav från masugn	3,5	3,5	0,6	0	0	0	0	0	0
	Handelsfärdigt stål	4,6	4,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6
Regional försörjning	Järnmalms-produkter	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0
	Järnsvamp ¹	0	0	≥ 1,7	≥ 1,7	≥ 1,7	≥ 1,7	≥ 1,7	≥ 1,7	≥ 1,7
	Råstål	5,4	5,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4
	varav från masugn ¹	3,5	3,5	≥ 0	≥ 0	≥ 0	≥ 0	≥ 0	≥ 0	≥ 0
	Handelsfärdigt stål	4,6	4,6	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6
Internationell tillväxt	Järnmalms-produkter	27,0	27,0	27,0	28,1	30,7	35,9	35,9	35,9	35,9
	Järnsvamp	0	0	4,2	9,3	18,4	23,4	28,6	28,6	28,6
	Råstål	5,4	5,4	11,2	11,2	11,2	11,2	11,2	11,2	11,2
	varav från masugn	3,5	3,5	0,8	0	0	0	0	0	0
	Handelsfärdigt stål	4,6	4,6	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5

¹ Anger lägsta produktionsvolym. Produktionsvolym för 2030–2060 och framåt bestäms av modell.

¹¹⁸ Jernkontoret, Branschfakta och statistik <https://www.jernkontoret.se/sv/stalindustrin/branschfakta-och-statistik/> (hämtad 2025-02-25)

¹¹⁹ SCB, Industrins varuproduktion <https://www.scb.se/NV0119> (hämtad 2025-02-25)

Cement

Tabell 33 visar antagna produktionsvolymerna för cementindustrin (del av C23). Utöver detta görs även antaganden för CCS i samtliga scenarier, där cirka 75–80 procent av produktionen kan installera CCS från 2030 medan resterande 20–25 procent kan använda CCS först 2040. Produktionsvolymerna är uppskattade baserat på officiell statistik¹²⁰, och antas vara konstant i samtliga scenarier till följd av osäkerheter kopplade till tillstånd för ny kalkbrytning.

Tabell 33. Antagen produktionsvolym i miljoner ton för cementindustrin i samtliga scenarier.

Scenario	Efterfrågan	2022	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Beslutad policy	Cement	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6
Lokal miljöhänsyn	Cement	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6
Globalt miljöperspektiv	Cement	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6
Regional försörjning	Cement	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6
Internationell tillväxt	Cement	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6

¹ Baserat på officiell statistik, industrins varuproduktion.

¹²⁰ SCB, Industrins varuproduktion <https://www.scb.se/NV0119> (hämtad 2025-02-25)

Kemiindustrin

Tabell 34 visar utvecklingen av energianvändningen i kemiindustrin (C20–22).
Fördelningen mellan de olika energibärarna är Energimyndighetens egen uppskattning.

Tabell 34. Antagen energianvändning i TWh för kemiindustrin i samtliga scenarier.

Scenario	Efterfrågan	2022	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Beslutad policy	Insatsvara	13,0	19,5	23,6	23,7	23,7	23,7	23,7	23,7	23,7
	varav vätgas	0,0	0,0	2,9	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
	Process-el	4,5	5,7	5,7	5,6	5,9	6,1	6,5	6,9	7,4
	Bränsle	4,3	6,1	6,0	5,9	6,0	6,1	6,3	6,5	6,6
	Pro- cessvärme	1,9	2,5	2,4	2,3	2,4	2,5	2,6	2,8	3,0
	Köpt värme	0,2	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Lokal miljöhänsyn	Insatsvara	13,0	19,5	23,6	23,7	23,7	23,7	23,7	23,7	23,7
	varav vätgas	0,0	0,0	2,9	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
	Process-el	4,5	5,7	5,7	5,7	5,9	6,1	6,6	7,0	7,5
	Bränsle	4,3	6,1	6,0	6,0	6,1	6,2	6,3	6,5	6,7
	Pro- cessvärme	1,9	2,5	2,4	2,3	2,4	2,5	2,7	2,8	3,0
	Köpt värme	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Globalt miljöperspektiv	Insatsvara	13,0	19,5	23,6	23,7	23,7	23,7	23,7	23,7	23,7
	varav vätgas	0,0	0,0	2,9	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
	Process-el	4,5	5,8	5,9	5,9	6,4	6,9	7,7	8,6	9,5
	Bränsle	4,3	6,1	6,1	6,1	6,3	6,5	6,8	7,1	7,5
	Process- värme	1,9	2,5	2,4	2,4	2,6	2,8	3,1	3,4	3,7
	Köpt värme	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4
Regional försörjning	Insatsvara	13,0	19,5	23,6	23,7	23,7	23,7	23,7	23,7	23,7
	varav vätgas	0,0	0,0	2,9	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
	Process-el	4,5	5,7	5,7	5,6	5,9	6,1	6,5	6,9	7,4
	Bränsle	4,3	6,1	6,0	5,9	6,0	6,1	6,3	6,5	6,6
	Process- värme	1,9	2,5	2,4	2,3	2,4	2,5	2,6	2,8	3,0
	Köpt värme	0,2	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Internationell tillväxt	Insatsvara	13,0	19,5	24,6	24,7	24,7	24,7	24,7	24,7	24,7
	varav vätgas	0,0	0,0	3,6	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8
	Process-el	4,5	5,8	6,0	6,0	6,5	7,0	7,8	8,7	9,6
	Bränsle	4,3	6,1	6,1	6,1	6,3	6,5	6,8	7,1	7,5
	Process- värme	1,9	2,5	2,4	2,4	2,6	2,8	3,1	3,4	3,7
	Köpt värme	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4

Massa- och pappersindustrin

Tabell 35 visar utvecklingen av energianvändningen i massa- och pappersindustrin. Fördelningen mellan de olika energibärarna är Energimyndighetens egen bedömning, baserad på data från skogsindustriernas miljödatabas¹²¹.

Tabell 35. Antagen energianvändning i TWh inom massa- och pappersindustrin i samtliga scenarier.

Scenario	Efterfrågan	2022	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Beslutad policy	Process-el	16,3	16,1	15,7	15,3	15,3	15,1	15,1	15,2	15,1
	Bränsle	4,2	4,1	4,0	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9
	Process-värme	46,1	45,6	44,5	43,3	43,3	42,7	42,8	43,1	42,9
	Köpt värme	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Lokal miljöhänsyn	Process-el	16,3	15,9	13,5	11,5	9,6	9,3	9,7	10,0	9,8
	Bränsle	4,2	4,1	3,5	3,0	2,5	2,4	2,5	2,6	2,5
	Process-värme	46,1	45,1	38,1	32,6	27,1	26,4	27,4	28,3	27,8
	Köpt värme	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Globalt miljöperspektiv	Process-el	16,3	15,9	14,3	13,0	11,7	11,3	11,3	11,3	11,1
	Bränsle	4,2	4,1	3,7	3,4	3,0	2,9	2,9	2,9	2,8
	Process-värme	46,1	45,1	40,5	36,9	33,3	32,0	32,0	31,9	31,3
	Köpt värme	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Regional försörjning	Process-el	16,3	16,1	15,4	15,1	14,9	15,1	15,3	15,3	15,3
	Bränsle	4,2	4,1	4,0	3,9	3,8	3,9	3,9	3,9	3,9
	Process-värme	46,1	45,6	43,6	42,8	42,1	42,7	43,2	43,2	43,3
	Köpt värme	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Internationell tillväxt	Process-el	16,3	16,1	16,0	15,9	15,6	15,3	15,8	15,9	16,3
	Bränsle	4,2	4,1	4,1	4,1	4,0	3,9	4,1	4,1	4,2
	Process-värme	46,1	45,6	45,3	45,0	44,1	43,2	44,7	44,9	46,1
	Köpt värme	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

¹²¹ Skogsindustrierna, Skogsindustrins miljödatabas <https://www.skogsindustrierna.se/om-skogsindustrin/branschstatistik/miljodatabas/> (hämtad 2025-02-25)

Övrig industri

Tabell 36 visar utvecklingen av energianvändningen för övrig industri (C10–16, C18, C23 (exklusive cement), C241–244 samt C25–33). Fördelningen mellan de olika energibärarna är Energimyndighetens egen bedömning.

Tabell 36. Antagen energianvändning i TWh för övriga industrier i samtliga scenarier.

Scenario	Efterfrågan	2022	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Beslutad policy	Process-el	14,4	14,4	16,5	17,8	18,5	18,9	19,5	20,0	20,6
	varav batteri-fabriker	0,0	0,7	3,3	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1
	Bränsle	2,2	2,1	1,8	1,8	1,6	1,5	1,6	1,6	1,6
	Process-värme	7,1	6,9	6,6	6,2	6,3	6,3	6,3	6,4	6,4
	Köpt värme	2,9	2,8	2,6	2,5	2,6	2,6	2,7	2,8	2,9
Lokal miljöhänsyn	Process-el	14,4	14,4	16,3	15,7	16,2	16,8	17,5	18,2	18,9
	varav batteri-fabriker	0,0	0,7	3,3	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1
	Bränsle	2,2	2,1	1,8	1,8	1,7	1,6	1,7	1,7	1,8
	Process-värme	7,1	6,8	6,1	5,4	5,2	5,2	5,3	5,5	5,5
	Köpt värme	2,9	2,8	2,5	2,4	2,4	2,5	2,6	2,8	2,9
Globalt miljöperspektiv	Process-el	14,4	14,5	17,3	18,3	19,3	20,3	21,6	23,0	24,4
	varav batteri-fabriker	0,0	0,7	3,3	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1
	Bränsle	2,2	2,1	1,8	1,8	1,8	1,7	1,8	1,9	2,0
	Process-värme	7,1	6,8	6,4	6,0	5,9	6,0	6,2	6,5	6,7
	Köpt värme	2,9	2,8	2,6	2,6	2,7	2,9	3,1	3,4	3,6
Regional försörjning	Process-el	14,4	14,4	16,5	16,0	16,6	17,1	17,7	18,2	18,8
	varav batteri-fabriker	0,0	0,7	3,3	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1
	Bränsle	2,2	2,1	1,8	1,8	1,6	1,5	1,6	1,6	1,6
	Process-värme	7,1	6,9	6,5	6,2	6,2	6,3	6,4	6,4	6,4
	Köpt värme	2,9	2,8	2,6	2,5	2,6	2,6	2,7	2,8	2,9
Internationell tillväxt	Process-el	14,4	14,5	18,2	19,6	20,7	21,7	23,0	24,4	25,9
	varav batteri-fabriker	0,0	0,7	4,6	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1
	Bränsle	2,2	2,1	1,8	1,8	1,8	1,7	1,8	1,9	2,0
	Process-värme	7,1	6,9	6,7	6,6	6,7	6,8	7,1	7,3	7,6
	Köpt värme	2,9	2,8	2,7	2,6	2,8	3,0	3,2	3,5	3,8

Raffinaderier

Tabell 37 visar beslutad kapacitet för produktion av bibränslen och elektrobränslen som inkluderas i samtliga scenarier. Modellen har möjlighet att göra ytterligare investeringar i dessa tekniker samt andra tekniker för bränsleproduktion i scenarierna.

Tabell 37. Uppskattad beslutad produktionskapacitet i TWh av olika bränslen i samtliga scenarier.

Scenario	Produktion	2022	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Alla	HVO från bioolja	5,4	14,1	27						
	E-metanol	0	0	0,9						

Tabell 38 visar antagen bränsleanvändning för oljeraffinaderier i scenarierna. Dessa bränslen antas främst utgöras av biprodukter från fossil råolja och kan ej substitueras bort i scenarierna. Utsläpp kan minskas med hjälp av CCS, dock max 50 procent av utsläppen från 2030. Först 2040 tillåts 100 procent av utsläppen kunna minskas med CCS.

Tabell 38. Antagen energianvändning i TWh inom (fossila) oljeraffinaderier i samtliga scenarier.

Scenario	Efterfrågan	2022	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Beslutad policy	Process-el	0,9	0,9	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	0,4	0,3
	Bränsle	13,9	13,1	12	10,8	9,7	8,5	7,3	6,2	5
Lokal miljöhänsyn	Process-el	0,9	0,9	0,8	0,7	0,4	0	0	0	0
	Bränsle	13,9	13,1	12	10,8	5,4	0	0	0	0
Globalt miljöperspektiv	Process-el	0,9	0,9	0,8	0,7	0,4	0	0	0	0
	Bränsle	13,9	13,1	12	10,8	5,4	0	0	0	0
Regional försörjning	Process-el	0,9	0,9	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	0,4	0,3
	Bränsle	13,9	13,1	12	10,8	9,7	8,5	7,3	6,2	5
Internationell tillväxt	Process-el	0,9	0,9	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	0,4	0,3
	Bränsle	13,9	13,1	12	10,8	9,7	8,5	7,3	6,2	5

B.6 Elektrifiering av arbetsmaskiner

För arbetsmaskiner i de olika sektorerna görs antaganden för de olika scenarierna när det gäller olika grad av elektrifiering. Som grund för de olika elektrifieringstakterna har utfasningsutredningen *I en värld som ställer om – Sverige utan fossila drivmedel 2040*¹²² (utfasningsutredningen SOU 2021:48) använts. Bedömningar har även gjorts bland annat utifrån WSP-rapport ”Potential att minska arbetsmaskinernas klimatpåverkan”¹²³. Det finns dock stora osäkerheter med de antagna elektrifieringstakterna. Antagande kring varje delsektor förklaras mer under de följande avsnitten.

För de allra flesta typer av maskiner är redan tekniken på plats för antingen ren batteridrift eller drift via vätgas och bränsleceller, men det är andra faktorer än bara tekniken som driver elektrifieringstakten. Där har bland annat kostnadsutvecklingen för eldrivna maskiner en stor påverkan, då de i dagsläget är dyrare i inköp än konventionella maskiner. Olika sektorer har olika stor möjlighet att absorbera och/eller föra vidare dessa ökade kostnader.

I Tabell 39 presenteras vilka fall av elektrifieringstakter som användes i de olika scenarierna. När det gäller industrin användes samma elektrifieringstakt, hög el, i alla scenarier.

Tabell 39. Antagande av elektrifieringstakter i de olika scenarierna.

Typ av scenario	Fall
Beslutad policy	Hög El
Lokal miljöhänsyn	Medel El
Globalt miljöperspektiv	Hög El
Regional försörjning	Medel El
Internationell tillväxt	Hög El

B.6.1 Elektrifiering av arbetsmaskiner inom jordbruk och skogsbruk

Elektrifieringen inom jordbruk och skogsbruk antas vara begränsad medan det finns stor potential för biobränsle som exempelvis HVO100, biogas eller vätgas som kan ersätta fossila drivmedel för att nå klimatneutralitet. Arbetsmaskiner inom jordbruket används sällan (och har därför lång livstid) medan maskinerna inom skogsbruket används mycket. Utmaningar inom dessa sektorer är bland annat effektbehovet och laddningsmöjligheter. Det krävs stora batterier vilket medför att vikten och kostnaden blir hög. Det finns inte heller elektrifierade maskiner anpassade för dessa två sektorer idag. Det finns mer potential att effektivisera och automatisera arbetsmaskinerna inom jordbruket och skogsbruket på lång sikt.

Energimyndigheten antar att elektrifieringstakten är låg på kort och medellång sikt (2025–2035). På lång sikt (2040 – framåt) antas elektrifieringen ta fart eftersom det är rimligt att anta att det kommer finnas automatiserade och effektivare maskiner anpassade för jord- och skogsbruket. I Tabell 40 visas antagen elektrifieringstakt för skogsbruk och i Tabell 41 för jordbruk.

¹²² Regeringen, *I en värld som ställer om – Sverige utan fossila drivmedel 2040*. SOU 2021:48, Del 1 <https://www.regeringen.se/rattsliga-dokument/statens-offentliga-utredningar/2021/06/sou-202148/>

¹²³ WSP, Potential att minska arbetsmaskinernas klimatpåverkan, 2023.

Tabell 40. Antagna elektrifieringstakter för arbetsmaskiner inom skogsbruk, andel el i procent.

Skogsbruk	2022	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Hög El – Dieselmaskiner	0 %	0 %	1 %	5 %	10 %	20 %	30 %	35 %	37 %
Hög El – Bensinmaskiner	0 %	0 %	5 %	10 %	20 %	30 %	40 %	45 %	47 %
Medel El – Dieselmaskiner	0 %	0 %	1 %	2 %	4 %	6 %	10 %	15 %	27 %
Medel El – Bensinmaskiner	0 %	0 %	4 %	8 %	12 %	16 %	25 %	35 %	40 %

Tabell 41. Antagna elektrifieringstakter för arbetsmaskiner inom jordbruk, andel el i procent.

Jordbruk	2022	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Hög El – Dieselmaskiner (djur)	0 %	0 %	5 %	8 %	15 %	20 %	30 %	45 %	65 %
Hög El – Dieselmaskiner (växt)	0 %	0 %	2 %	4 %	8 %	14 %	22 %	32 %	44 %
Hög El – Bensinmaskiner (växt)	0 %	0 %	5 %	10 %	20 %	40 %	70 %	85 %	86 %
Medel El – Dieselmaskiner (djur)	0 %	0 %	2 %	4 %	6 %	8 %	12 %	20 %	32 %
Medel El – Dieselmaskiner (växt)	0 %	0 %	0 %	2 %	3 %	5 %	9 %	17 %	29 %
Medel El – Bensinmaskiner (växt)	0 %	0 %	5 %	9 %	17 %	29 %	45 %	65 %	70 %

B.6.2 Elektrifiering av arbetsmaskiner inom bostäder och lokaler

För arbetsmaskiner inom bostäder och lokaler antas en högre elektrifieringstakt då det finns både tekniker och prototyper på plats idag. Inom bostäder och lokaler handlar det framför allt om gräsklippare och handhållna trädgårdsredskap, som redan finns ute på marknaden. I rapporten *kartläggning av eldrivna arbetsmaskiner*¹²⁴ uppskattades andelen eldrivna arbetsmaskiner inom hushåll/service, beroende på vilken typ av arbetsmaskin, till ett spann på 0,1–100 procent. Studien visade att det redan år 2020 fanns en mängd arbetsmaskiner på marknaden. Det var framför allt gräsklippare och handhållna trädgårdsredskap som elektrifierats i stor omfattning.

Energimyndigheten antar att arbetsmaskiner i bostäder- och servicesektorn kommer att vara till stor del elektrifierad till 2050 för fallet hög el. Elektrifieringen har redan startat och växer som snabbast 2030–2045. Efter år 2050 stagnerar elektrifieringen eftersom en hög elektrifieringstakt uppnåtts. Samma tillvägagångssätt har antagits för fallet medel el fast med lägre andel elektrifierade arbetsmaskiner, se Tabell 42.

Tabell 42. Antagna elektrifieringstakter för arbetsmaskiner inom bostäder och service, andel el i procent.

Hushåll och Service	2022	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Hög El – Dieselmaskiner	15 %	30 %	45 %	65 %	80 %	85 %	85 %	87 %	88 %
Hög El – Bensinmaskiner	20 %	35 %	50 %	75 %	90 %	95 %	95 %	97 %	98 %
Medel El – Dieselmaskiner	8 %	20 %	30 %	43 %	57 %	65 %	65 %	67 %	68 %
Medel El – Bensinmaskiner	10 %	25 %	35 %	50 %	65 %	75 %	75 %	77 %	78 %

¹²⁴ SMED, Kartläggning av eldrivna arbetsmaskiner, 2021

B.6.3 Elektrifiering av arbetsmaskiner inom byggsektorn

Inom bygg- och anläggningssektorn finns det mindre elektrifierade arbetsmaskiner på den svenska marknaden som exempelvis minigrävare, grävmaskin, kompaktlastare, kompaktgrävare och små hjullastare. Genom Fossilfritt Sverige har bygg- och anläggningssektorn publicerat en uppgraderad färdplan för fossilfri konkurrenskraft¹²⁵. Färdplanens mål är nettonollutsläpp i sektorn till 2045. Volvo Construction Equipment (Volvo CE) har även satt som mål att de 2040 ska sälja 100 procent fossilfria maskiner samt ett delmål 2030 där 35 procent av alla sålda maskiner ska vara elektriska. Med fossilfria maskiner menar Volvo CE att 2040 ska 80 procent av arbetsmaskinerna drivas av batterier och bränsleceller och 20 procent av flottan ska bestå av förbränningsmotorer som drivs av biobränslen.

Elektrifieringstakten inom byggsektorn antas öka som snabbast mellan 2030 och 2050. Implementeringen antas ta lite längre tid än Volvo CE:s mål om antal sålda elektriska arbetsmaskiner. Efter 2050 antas flottan bestå av cirka 70 procent elektrifierade maskiner (batterier), cirka 20 procent förbränningsmotorer och resterande del består av bränsleceller. Tabell 43 visar antagen elektrifieringstakt för arbetsmaskiner inom byggsektorn.

Tabell 43. Antagna elektrifieringstakter för arbetsmaskiner inom byggsektor, andel el i procent.

Byggsektor	2022	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Hög El – Dieselmaskiner	0 %	5 %	15 %	30 %	50 %	65 %	70 %	72 %	73 %
Hög El – Bensinmaskiner	0 %	5 %	10 %	25 %	45 %	65 %	80 %	82 %	83 %
Medel El – Dieselmaskiner	0 %	3 %	5 %	13 %	25 %	45 %	50 %	52 %	53 %
Medel El – Bensinmaskiner	0 %	3 %	4 %	10 %	20 %	45 %	60 %	62 %	63 %

B.6.4 Elektrifiering av arbetsmaskiner inom industrin

Inom industrin används arbetsmaskiner på samma ställe under en längre tid vilket gör det enklare att bygga en ladd- eller elinfrastruktur för maskinerna. Gruv- och mineralbranschen har kommit längst i elektrifieringen av arbetsmaskiner men använder fortfarande dieselmotorer för interna transporter. I stålindustrin och skogsindustrin anses det vara lättare att bli fossilfri genom att ersätta bränslen i dieselmaskiner med biodrivmedel. Inom gruvindustrin finns det även stor potential för elektrifiering och effektivisering. Det kan handla om att industrialisera processerna mer eller använda flexibla transportlösningar såsom bandtransportörer.

I intervjuer med entreprenörer¹²⁶ som säljer arbetsmaskiner lyfter de att industrin har högre potential än byggbranschen att elektrifiera men att elektrifieringsgraden är låg. Detta trots att gruvindustrin är elektrifierad. Fördröjningen beror dels på att det saknas incitament och krav för att öka elektrifieringen, dels är det en kostnadsfråga och dels är maskinerna även stora och svåra att elektrifiera.

Energimyndigheten antar i scenarierna att andel eldrift för arbetsmaskiner inom industrin är tio procentenheter högre än för byggbranschen från och med 2030 eftersom det finns en viss fördröjning i industribranschen för att elektrifiera trots att potentialen är hög. Andel el för industrins arbetsmaskiner visas i Tabell 44.

¹²⁵ Fossilfritt Sverige, färdplan för fossilfri konkurrenskraft Bygg- och anläggningssektor, 2024

¹²⁶ WSP, Potential att minska arbetsmaskinernas klimatpåverkan, 2023

Tabell 44 Antagen elektrifieringstakter för arbetsmaskiner inom industrin, andel el i procent.

Industri	2022	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Hög El – Dieselmaskiner	-	10 %	25 %	40 %	60 %	75 %	80 %	82 %	83 %

B.6.5 Övriga antaganden

Arbetsmaskinerna delas in utifrån användning av diesel och bensen i alla sektorer och generellt antas att bensinmaskiner har högre potential för elektrifiering jämfört med dieselmaskiner. Eftersom elmotorer är mycket mer effektiva än förbränningsmotorer ersätts inte en kWh diesel/bensen med en kWh el utan med en faktor 0,45 för diesel och motsvarande 0,3 för bensen.

Bilaga C – Beslutad policy scenarioreultat

C.1 Inledning

Energimyndigheten tar vartannat år fram scenarier i samband med att Sverige ska rapportera de svenska klimatutsläppen till Europeiska kommissionen. Rapporteringen görs enligt Klimatrapporteringsförordningen¹²⁷. Det föreliggande scenariot är ett av flera underlag till Naturvårdsverket och bearbetas vidare i deras arbete med att rapportera klimatutsläppen.

Till klimatrapporteringen ska utöver ett scenario med beslutad policy (*Beslutad policy*) två känslighetsfall tas fram. I känslighetsfallen varieras varsin parameter. I det ena känslighetsfallet har vi antagit högre BNP (*Högre BNP*) och i det andra känslighetsfallet har vi antagit högre EU ETS (*Högre ETS*). *Beslutad policy* inkluderar styrmedelsförändringar (till och med budgetproposition 2024/25:1¹²⁸), se vidare Bilaga B – Metodbilaga.

Beslutad policy och tillhörande känslighetsfall används även för att följa upp de energipolitiska målen och i olika typer av utredningar där scenarier över framtiden behövs som underlag. Det är inget huvudscenario och inte heller det mest sannolika scenariot – scenariot bygger på beslutade styrmedel och avsiktsförklaringar och planer från industrin. Energimyndigheten har därför också tagit fram utforskande scenarier för att få ett brett kunskapsunderlag på möjliga utvecklingsvägar i ett framtida energisystem i syfte att ge bättre beslutsunderlag.

C.2 Total tillförsel och användning i energisystemet

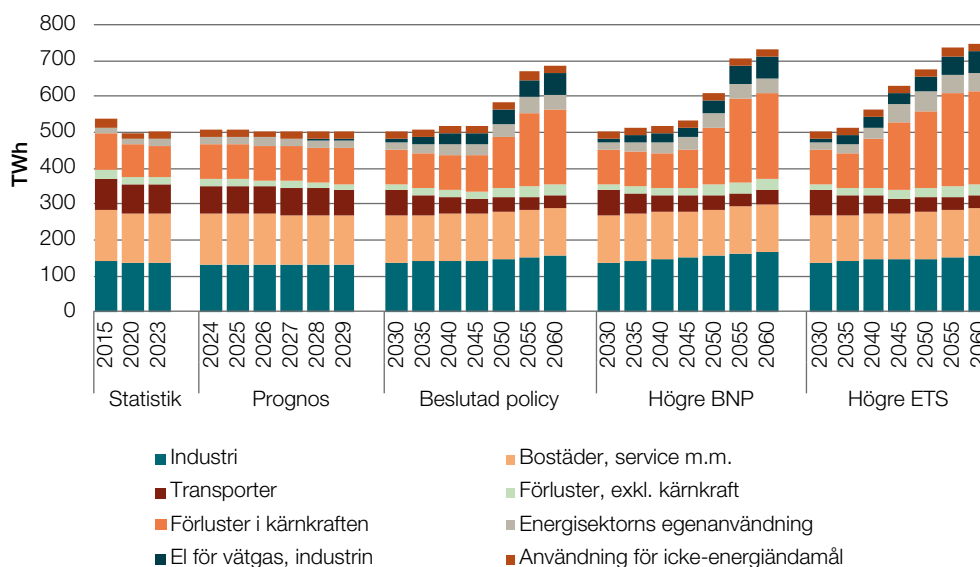
C.2.1 Total energianvändning

Total energianvändning var 503 TWh under 2023.¹²⁹ Total energianvändning ökar till mellan 670 och 735 TWh 2055 beroende på scenario. *Beslutad policy* har lägst total energianvändning 2055, vilket motsvarar en ökning på drygt 30 procent jämfört med 2023. I känslighetsfallet *Högre ETS* är energianvändningen närmare 45 procent högre jämfört med 2023. Hur användningen fördelar sig mellan sektorer ses i Figur 68.

¹²⁷ SFS 2014:1434, *Klimatrapporteringsförordningen*.

¹²⁸ Prop. 2024/25:1.

¹²⁹ Skillnaden mellan energitillförsel och energianvändningen 2020 utgörs av en statistisk differens.



Figur 68. Total energianvändning (inkl. nettoimport/export) per sektor 2010, 2015, 2020 och 2023 samt i prognos samt *Beslutad policy* och tillhörande känslighetsfall till 2055, TWh.

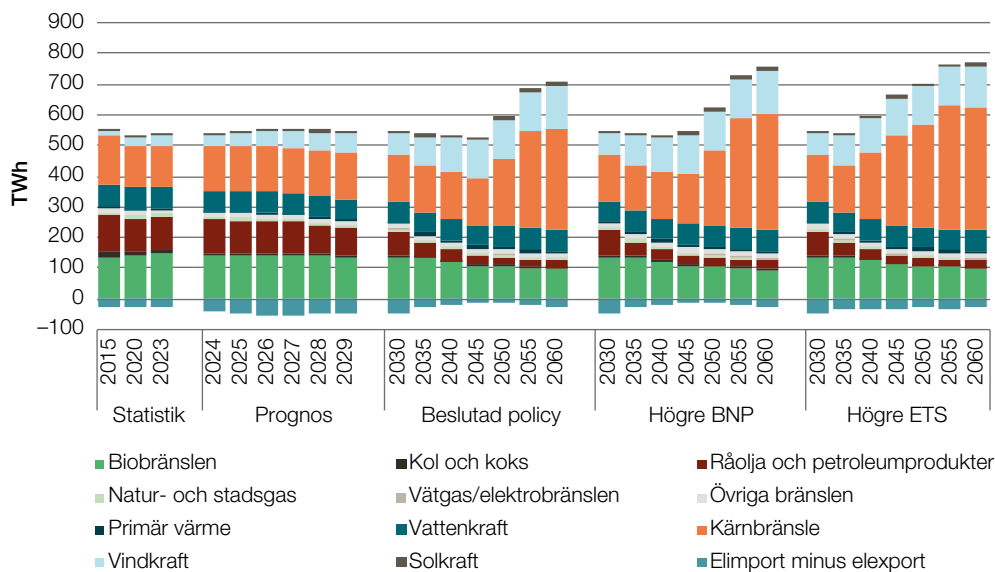
Energianvändningen ökar kraftigt i *Beslutad policy* och tillhörande känslighetsfall och det beror framför allt på att förlusterna i kärnkraften ökar då ny kärnkraft byggs i samtliga fall. Andra betydande anledningar är el för vätgasproduktion och ökad produktion i bioraffinaderier.

Industrin ökar energianvändningen som mest med närmare 25 TWh i känslighetsfallet *Högre BNP* mellan 2023–2055 medan den i övriga fall ökar med 16 TWh. Ökningen beror på en ökad elanvändning medan användningen av framför allt fossila bränslen minskar. I transportsektorn minskar energianvändningen med mellan 38 och 42 TWh mellan 2023–2055 i de olika fallen. Minskningen är starkt kopplad till i vilken grad elektrifiering sker, då elmotorn är mer energieffektiv än en konventionell förbränningsmotor. I sektorn bostäder och service minskar energianvändningen med 6–7 TWh till 2055 jämfört med 2023. Minskningen beror i huvudsak på en minskad användning av fjärrvärme men också av fossila bränslen vilket motverkas av en ökad elanvändning. Läs mer om energianvändningen under respektive sektors kapitel nedan.

C.2.2 Total energitillförsel

Total energitillförsel var 507 TWh under 2023.^F År 2055 är energitillförseln mellan 670–735 TWh beroende på fall, vilket kan ses i Figur 69. Skillnaden mellan *Beslutad policy* och tillhörande känslighetsfall 2055 beror i huvudsak på hur mycket kärnbränsle¹³⁰ som tillförs energisystemet i och med att mycket ny kärnkraft byggs i samtliga fall. Utbyggnaden sker vid olika tillfällen, i *Högre ETS* sker det 2040 och i *Beslutad policy* samt *Högre BNP* 2050. I samtliga fall drifttidsförlängs dagens befintliga sex reaktorer.

¹³⁰ På grund av att verkningsgraden i kärnkraftverk är relativt låg och att spillvärmen inte tas omhand är omvandlingsförlusterna stora och just kärnkraft har därför stor påverkan på tillförd energi och energianvändningen i en energibalans.

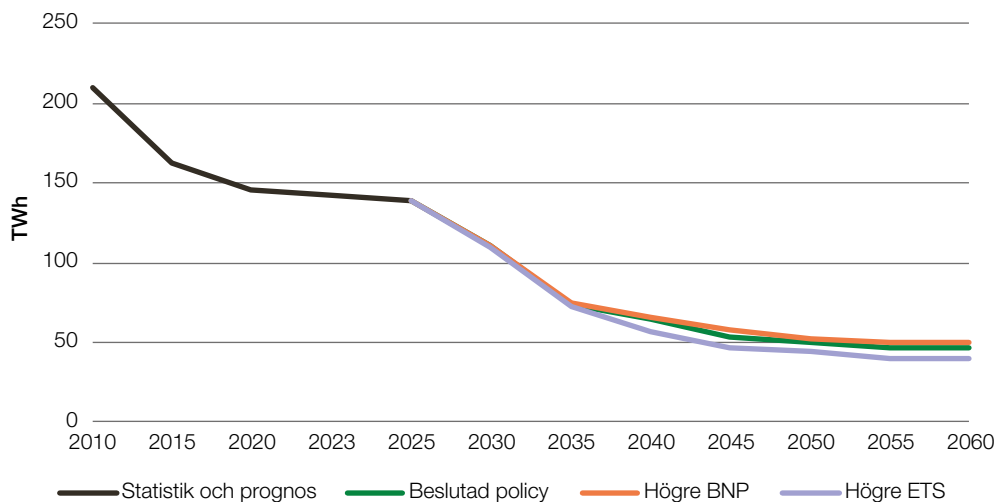


Figur 69. Total energitillförsel (inkl. nettoimport/export) per energibärare 2010, 2015 och 2020 samt *Beslutad policy* och tillhörande känslighetsfall till 2055, TWh.

Gemensamt för *Beslutad policy* och tillhörande känslighetsfall är också att elproduktionen från vindkraft och solkraft ökar mer eller mindre kraftigt från nivån 2023 då vindkraft producerade 34 TWh el och solkraft 3 TWh. Från vindkraft är elproduktionen 126 TWh 2055 i *Beslutad policy* och *Högre BNP* samt 124 TWh i *Högre EU ETS*. Solkraften ökar till mellan 11–13 TWh 2055 i samtliga fall.

Skillnader i producerad el från olika kraftslag är starkt kopplat till efterfrågan och elprisutveckling i respektive fall som tillsammans med övriga gällande förutsättningar gör att olika mycket elproduktion blir lönsam inom Sverige. Elproduktionen beskrivs närmare i avsnitt C6 nedan.

Gemensamt för *Beslutad policy* och känslighetsfallen är att mängden tillförda fossila bränslen i form av olje- och kolprodukter samt naturgas minskar kraftigt, vilket ses i Figur 70. Tillsammans minskar dessa fossila bränslen mest i *Högre ETS* där minskningen är 72 procent 2055 jämfört med 2023. I *Beslutad Policy* och *Högre BNP* är minskningen 67 respektive 65 procent.



Figur 70. Tillförsel av fossila bränslen 2010, 2015 och 2020 samt i *Beslutad policy* och tillhörande känslighetsfall till 2055, TWh.

Oljeanvändningen minskar från 104 TWh 2023 till mellan 22–25 TWh 2055 i samtliga fall. Användningen av oljeprodukter minskar kraftigt i transportsektorn där användningen år 2055 är nära noll. Minskningen är även stor i sektorerna industri och bostäder och service. De oljeprodukter som fortfarande används, används för icke energändamål.

Användningen av kolprodukter minskar från 16 TWh 2023 till endast 1–4 TWh 2055. Det lilla som används finns i industrin och minst finns kvar i *Högre ETS*. Även användningen av naturgas minskar mest i *Högre ETS* med närmare 85 procent minskning och mellan 30–34 procent minskning i övriga fall.

C.3 Industrisektorn

Industrins utveckling mot och förbi 2050 styrs främst av ingående antaganden om specifika projektsatsningar och kostnader för bränslen och koldioxidutsläpp.

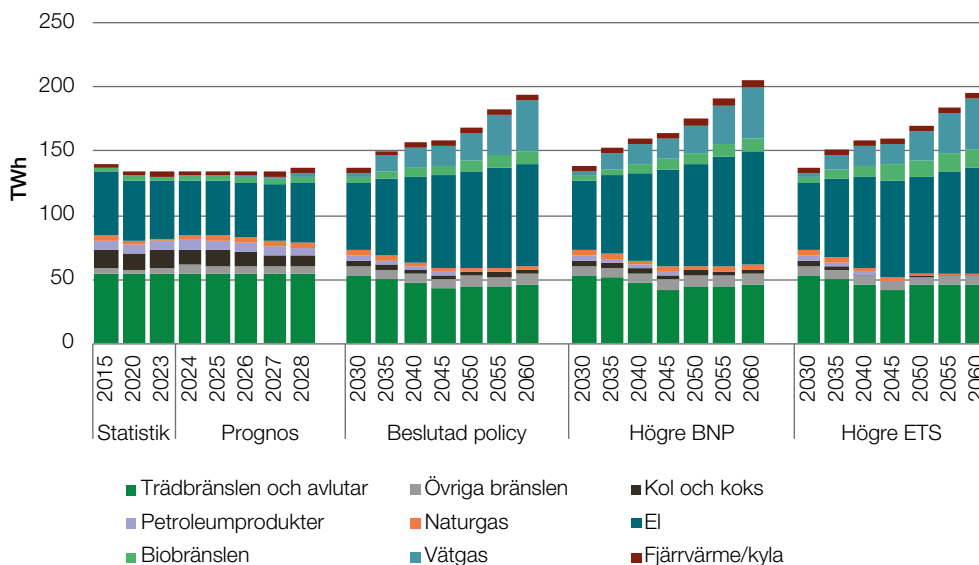
Jämfört med Energimyndighetens tidigare scenarier har utvecklingstakten i olika elektrifieringsprojekt börjat mattas av. Många projekt med aviserade tidplaner indikerar nu både förseningar och i vissa fall även avbrytande av projektplaner. För industrin märks detta främst genom att bidraget till elektrifieringen från specifika industriprojekt både fördröjs och är lägre skattade än tidigare. Detta beror bland annat på oroligheter kring satsningar på batterifabriker men främst på att de stora planerna på järnsvampsproduktion skjutits på framtiden, vilket gör att den höga användningen av el som gick att se i tidigare scenarier 2050 i stället syns 2060.

Från denna upplaga av långsiktiga scenarier redovisas inte längre elektrobränsleproduktion som en del av kemiindustrin, vilket innebär att elanvändningen för kemiindustrin är lägre än i tidigare scenarier. Trots de nya förutsättningarna ser vi ändå en betydande elektrifiering av industrin, inte minst i form av en ökad vätgasanvändning.

C.3.1 En ökande elanvändning inom industrin

Industrin förändras genom minskande mängder fossila bränslen, ökande användning av förädlade trädbränslen och en totalt sett ökande energianvändning (Figur 71). Den mest tydliga trenden är dock den markanta ökningen av el och vätgas.

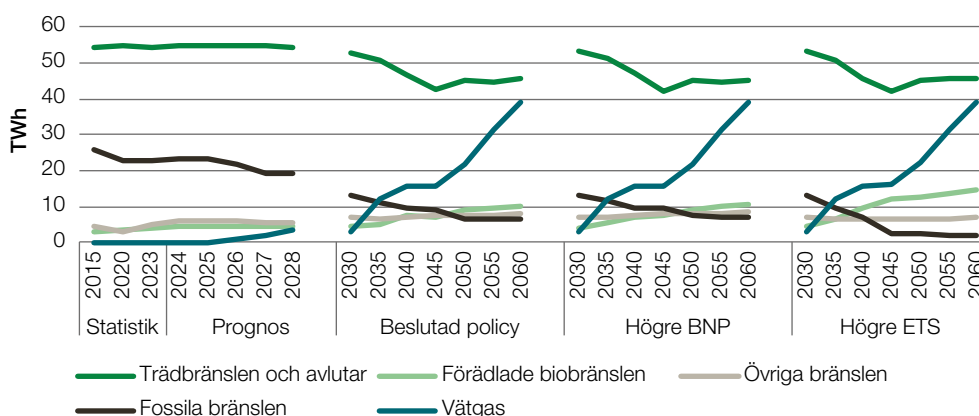
I *Beslutad policy* ökar elanvändningen från runt 45 TWh 2023 till drygt 100 TWh 2050 och nästan 135 TWh 2060. Av den totala elanvändningen utgör el till elektrolysörer drygt 35 TWh 2050 och runt 60 TWh 2060. Det är främst den antagna utvecklingen inom järn- och stålindustrin, och specifikt antaganden om volymer vätgasbaserad järnsvamp, som ligger bakom de stora ökningarna. Det är inte bara järn- och stålindustrin som ökar elanvändningen, utan det sker en ökande elanvändning i de flesta sektorer. Ökningen förklaras dels av ökad produktion, dels av ökad konkurrens och av kostnader för både fossila bränslen och biobränslen.



Figur 71. Slutlig energianvändning inom industrisektorn, TWh.

C.3.2 Användningen av fossila bränslen minskar

Den totala användningen av fossila bränslen minskar kraftigt i *Beslutad policy* och tillhörande känslighetsfall, se Figur 72. Detta är både en följd av antaganden kring aviserade projekt och en effekt av det ökande utsläppsrättspriset (EU ETS). Parallellt med utfasningen av de fossila bränslena sker en successiv ökning av biobränslen och vätgas, där vätgasen främst ersätter kol och koks i stålindustrin medan de förädlade förnybara bränslena ersätter fossila bränslen över hela industrisektorn. Användningen av förädlade biobränslen är i det närmsta inverterad jämfört fossila bränslen efter 2030, där högre koldioxidpriser leder till en snabbare ökande och totalt sett högre användning.

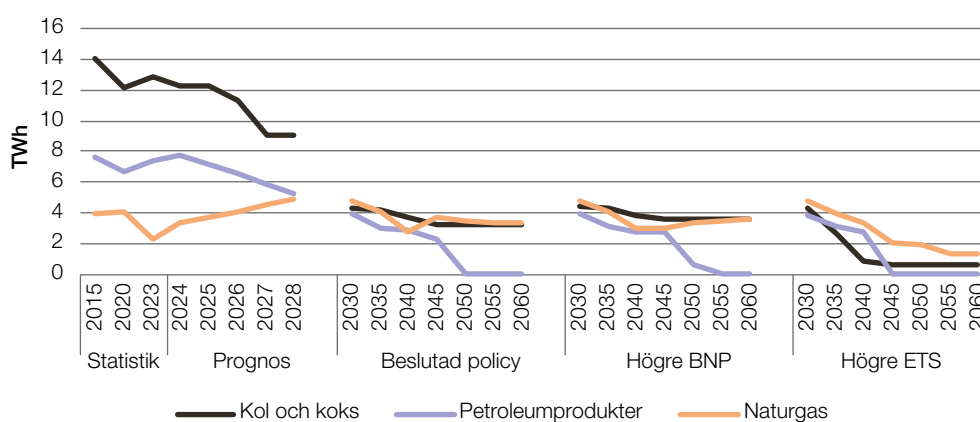


Figur 72. Slutanvändning av bränslen inom industrin i TWh.

Användningen av trädbränslen och avlutar minskar i *Beslutad policy* och tillhörande känslighetsfall. Minskningen beror på en kombination av energieffektivisering och ökad elektrifiering av skogsindustrierna. Trenden drivs på av de ökande priserna på trädbränslen, där den frigjorda mängden trädbränslen från industrin används som råvara för att producera förädlade biobränslen.

Övriga bränslen hålls relativt konstanta i *Beslutad policy* och tillhörande känslighetsfall. Den största andelen av övriga bränslen utgörs av restprodukter inom kemiindustrin. Råvarorna är i huvudsak fossila vilket också medför att majoriteten av övriga bränslen är av fossilt ursprung i *Beslutad policy* och tillhörande känslighetsfall. Från 2045 används runt 10–15 procent förnybara råvaror i kemiindustrin. Andelen är något lägre i *Högre ETS*, vilket får tolkas som att förnybara bränslen gör mer nytta för att ersätta bränslen som leder till direkta utsläpp inom Sverige då inget av fallen tar hänsyn till så kallade Scope 3-utsläpp, dvs utsläpp som uppstår vid förbränning av de producerade produkterna.

För de fossila bränslena ses olika trender beroende på vilket bränsle som avses (Figur 73). Användningen av petroleumprodukter minskar i samtliga fall för att fasas ut helt 2050–2055 i *Beslutad policy* och *Högre BNP*. I *Högre ETS* leder det högre koldioxidpriset till att petroleumprodukterna fasas ut 2045.



Figur 73. Industrins användning av fossila bränslen i TWh.

Bortsett från prognosperioden fram till 2030 liknar trenden för användandet av kolbränslen och naturgas varandra. Den stora minskningen av kolbränslen från 2025–2030 beror på stålindustrins aviserade planer att ersätta masugnar med vätgasbaserad järnsvampsproduktion och ljusbågsugnar, vilket sker i samtliga fall. Därefter ses en stabil men svagt avtagande användning av kolbränslen i *Beslutad policy* och *Högre BNP*. I *Högre ETS* leder det högre koldioxidpriset i stället till en snabbare minskning av kolbränslen. För användningen av naturgas ses en ökande användning fram mot 2030 och en minskande användning i *Beslutad policy* och *Högre BNP*. Precis som för kolbränslena så sker en snabbare minskning av naturgasanvändningen till följd av det högre koldioxidpriset i *Högre ETS*.

Kolbränslen, naturgas och övriga bränslen används i sektorer med möjlighet att använda koldioxidinfångning, vilket ökar möjligheten att använda fossila bränslen trots höga koldioxidpriser. Användningen av koldioxidinfångning är också den främsta anledningen till att vi ser övriga bränslen med hög andel fossilt ursprung samt mindre mängder kolbränslen och naturgas hela vägen fram till 2060 i känslighetsfallet *Högre ETS*. Koldioxidpriserna gör att det sker en betydande användning av koldioxidinfångning redan 2035 i *Högre ETS*. De lägre koldioxidpriserna i *Beslutad policy* och *Högre BNP* gör att koldioxidinfångning används i större utsträckning först runt 2045.

Generellt för *Beslutad policy* och tillhörande känslighetsfall kan slutsatsen dras att ETS-priset är tillräckligt högt för att fasa ut petroleumprodukter i samtliga fall och på sikt tvinga in koldioxidinfångning i de sektorer som har den möjligheten. Det finns dock osäkerheter kring kostnadsantaganden för koldioxidinfångning och kostnaderna är också specifika för olika typer av industrier. Det går därför inte att dra några större generaliserade slutsatser om koldioxidinfångning från det presenterade resultatet. Däremot visar resultatet på att det krävs höga koldioxidpriser för att ersätta fossila bränslen utan koldioxidinfångning.

C.4 Transportsektorn

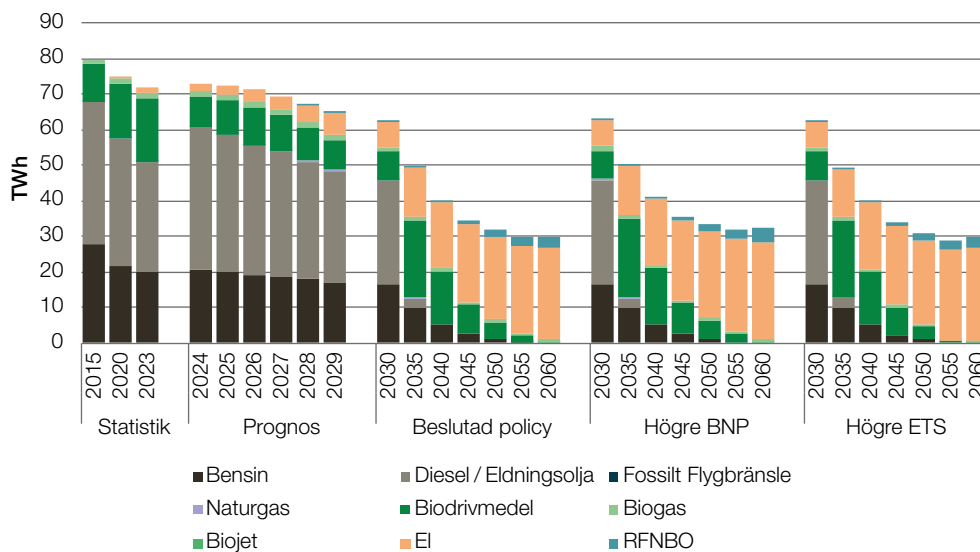
Generellt drivs omställningen inom transportsektorn av EU:s styrmedel, främst priser på utsläppsrätter via EU ETS, tekniska krav på nya vägfordon, krav på växthusgasreduktion i sjöfarten och inblandningsplikt i luftfarten. Resultaten presenteras i Figur 74 till Figur 79 nedan. Följande text lyfter fram relevanta resultat och skillnader mellan *Beslutad policy* och de två känslighetsfallen.

C.4.1 Vägtrafik

Framtiden för energianvändningen inom vägtransport präglas av elektrifiering (Figur 74), både när mer priskonkurrenskraftiga laddhybrider och helt elektriska fordon blir mer tillgängliga och med skärpningen av utsläppsminskningskravet för nya fordon i EU. *Beslutad policy* och känslighetsfallen utgår från en exogent (dvs exogent i förhållande till TIMES-Nordic) modellerad utveckling av fordonsflottan som tagits fram genom gemensamma bedömningar från Trafikverket och Energimyndigheten. Den framtagna utvecklingen av fordonsflottan inkluderar en förväntan om en snabbare elektrifiering av tunga fordon under scenarier med högre priser för utsläppsrätter. Utöver elektrifiering har tunga lastbilar och regionala bussar antagits att bestå av cirka 15–20 procent vätgasbaserade drivlinor för att återspegla utmaningarna för elektrifiering av vissa längre resor med tyngre laster.

Skattebefrielsen på biodrivmedel är viktig för den resulterande användningen, med en brytpunkt i modellen 2035. Om skattebefrielsen för biodrivmedel fortsätter förväntas priset på HVO (hydrerad vegetabilisk olja) vid pump falla under priset på låginblandad diesel 2035 och förbli lägre under resten av perioden. Det medför att nästan alla dieselfordon byter från fossil diesel till HVO från 2035 och framåt, se Figur 74. Utan skattebefrielse för biodrivmedel skulle den stigande kostnaden för utsläppsrätter försena övergången från fossil diesel till HVO till 2040, med full övergång 2045. Osäkerheter på den internationella bränslemarknaden kan dock påverka denna övergång, särskilt med den förväntade ökningen av europeisk efterfrågan på biodiesel och råvaror.

Innan detta skifte till ren HVO-användning kan den mindre effekten av den föreslagna reduktionsplikten, med möjligheten att använda ”elkrediter” från publik laddning av elfordon, ses under åren 2025–2030. Med den ökade elfordonsanvändningen modelleras en ökad användning av dessa ”elkrediter” och därmed en minskning av inblandningen av biobränslen i låginblandade drivmedel.



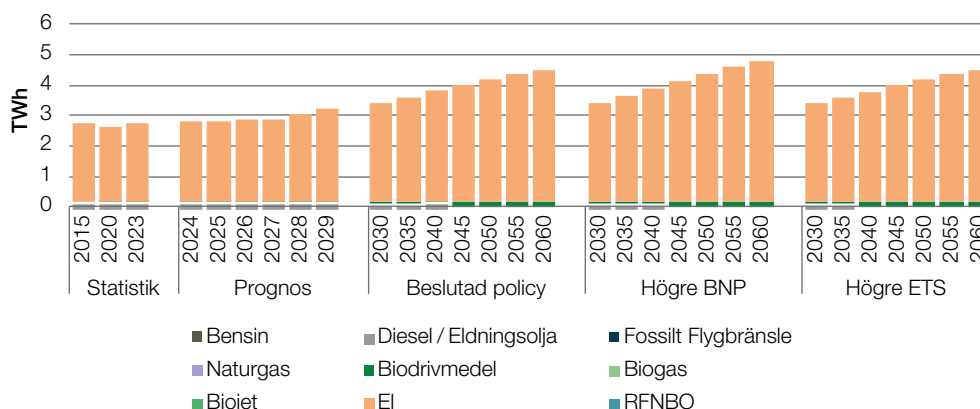
Figur 74. Vägtrafik energianvändning statistik (2019–2023), prognos (2024–2027), och *Beslutad policy* och tillhörande känslighetsfall (2030–2060)

Anm: BP = Beslutad policy; HBNP = Högre BNP och HETS = Högre ETS

C.4.2 Bantrafik

På grund av att järnvägsnätet redan i hög grad är elektrifierat i Sverige förväntas inte några betydande förändringar i energival för bantrafiken i något av *Beslutad policy* och tillhörande känslighetsfall (Figur 75). Ökningen av elanvändningen i bantrafiken är ett resultat av stigande transportarbete både för gods och passagerare. Eftersom det endast finns små variationer för antaget transportarbete mellan de olika fallen är profilerna för energianvändningen i stort sett samma. Ett grundläggande antagande i modellen är att det inte sker någon betydande förbättring av energieffektiviteten per utfört transportarbete (till exempel att ha fler passagerare på samma tåg). Om förbättringar skulle ske här skulle det leda till en minskad elanvändning.

Idag är nästan 85 procent av det nationella järnvägsnätet elektrifierat med kontaktledning och 2022 framfördes 96 procent av alla tågkilometer med elektriska lok. Det ökade transportarbetet förväntas hanteras med elektrifierade järnvägar, främst kontaktledning, men också med framtidens möjlighet för batterilok. Därmed förväntas diesel/biodieselanvändningen ligga kvar på dagens nivåer.



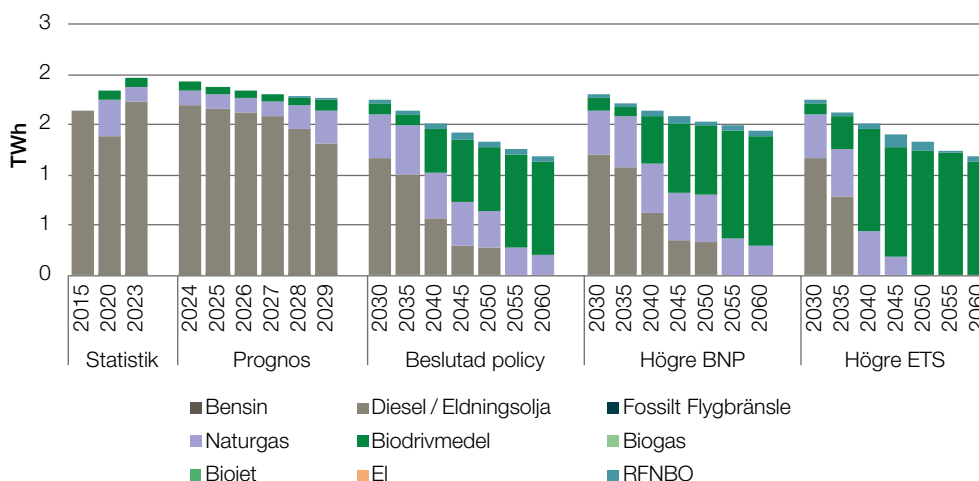
Figur 75. Bantrafik energianvändning statistik (2019–2023), prognos (2024–2027), och *Beslutad policy* och tillhörande känslighetsfall (2030–2060), TWh.

C.4.3 Inrikes sjöfart

Den framtida energianvändningen inom sjöfartssektorn kommer främst att påverkas av EU:s förordning FuelEU Maritime¹³¹, med skärpta krav på att minska utsläppen av växthusgaser från Europas sjöfartssektor under scenarioperioden. Under denna period kommer rederier att göra långsiktiga investeringar i bränslesystem baserat på teknikens kostnad och tillgänglighet samt förväntningar på bränslenas tillgång och pris. Elanvändning i el- och hybridfartyg inkluderades inte i modelleringen, men potentialen för dessa kan vara betydande, särskilt inom inrikes sjöfart.

Biodrivmedel, och specifikt biometanol, används i huvudsak för att uppnå utsläppsminskningen (Figur 76). Dessa biodrivmedel ersätter först diesel och därefter LNG som bränsle för sjöfarten i samtliga fall. Med de antagna kostnaderna och tillgången på biobränsleproduktion i Sverige utgör elektrobränslen endast en liten del av bränslemixen i de olika fallen.

LNG utgör redan en betydande del av energimixen för inrikes sjöfarts vilket också fortsätter hela scenarioperioden för *Beslutad policy* och *Högre BNP*. I *Högre ETS* medför det högre priset på utsläppsrätter en tidigare utfasning av LNG-fartyg.



Figur 76. Inrikes sjöfarts energianvändning statistik (2019–2023), prognos (2024–2027), och *Beslutad policy* och tillhörande känslighetsfall (2030–2060), TWh.

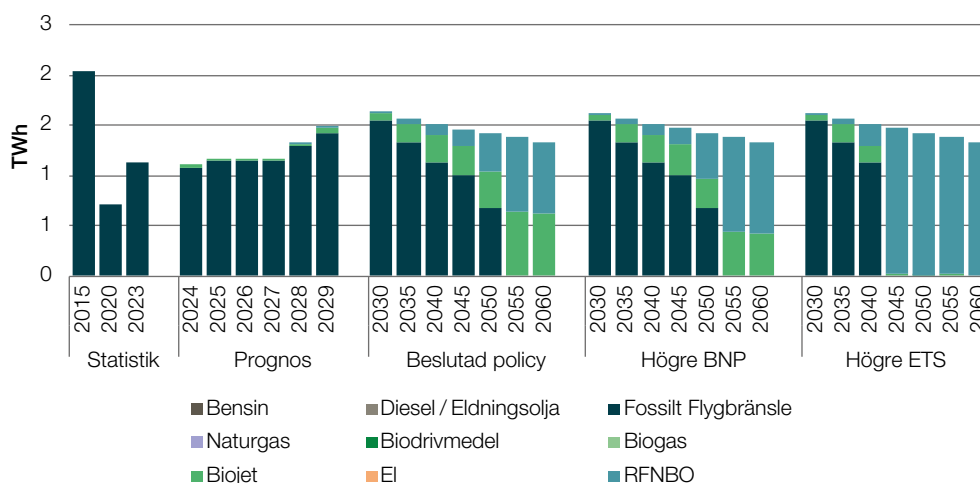
C.4.4 Inrikes luftfart

Flyget befinner sig i ett tidigare skede av omställningen jämfört med sjöfarten och står inför betydande tekniska utmaningar när det gäller val av energibärare. EU-förordningen ReFuelEU Aviation¹³² fastställer minimikrav för inblandning av biobränslen och elektrobränslen för större flygplatser inom EU för att minska användningen av fossila bränslen. Även om det finns potential att se framtida inrikes användning av el- eller vätgasflygplan i Sverige, har de inte inkluderats som en del av denna modellering.

¹³¹ EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS FÖRORDNING (EU) 2023/1805 av den 13 september 2023 om användning av förnybara och koldioxidsnåla bränslen för sjötransport och om ändring av direktiv 2009/16/EG (FuelEU Maritime).

¹³² EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS FÖRORDNING (EU) 2023/2405 av den 18 oktober 2023 om säkerställande av lika villkor för hållbar lufttransport (ReFuelEU Aviation).

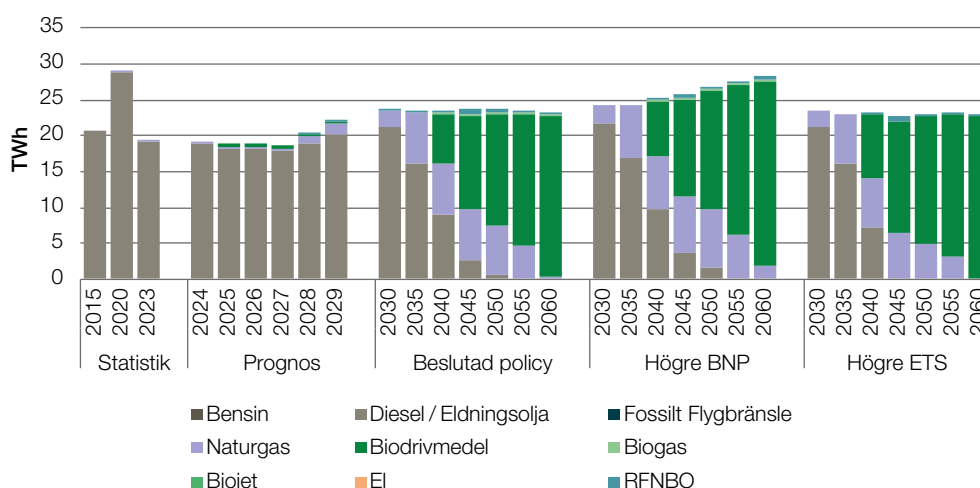
Med krav på att fasa in både biojet och elektrobränsle i flyget ökar användningen av dessa bränslen i linje med miniminivåerna i *Beslutad policy* och *Högre BNP*. En annan utveckling ses i *Högre ETS*, där de högre priserna på utsläppsrätter leder till en full utfasning av fossila bränslen 2045 och där den ökade konkurrensen för bioråvaror i alla sektorer medför en högre användning av elektrobränslen från 2045 i luftfartssektorn (Figur 77).



Figur 77. Inrikes luftfarts energianvändning statistik (2019–2023), prognos (2024–2027), och *Beslutad policy* och känslighetsfallen (2030–2060), TWh.

C.4.5 Utrikes Sjöfart

Utrikes sjöfart följer en liknande väg som inrikes sjöfart (Figur 78), med biometanol (redovisas som biodrivmedel i figuren) som det huvudsakliga bränsle som valts för att minska utsläppen av växthusgaser på längre sikt efter en initial tillväxt för LNG-fartyg. En drivkraft för denna utsläppsminskning är, precis som nämnt för inrikes sjöfart, EU-förordningen FuelEU Maritime¹³³.



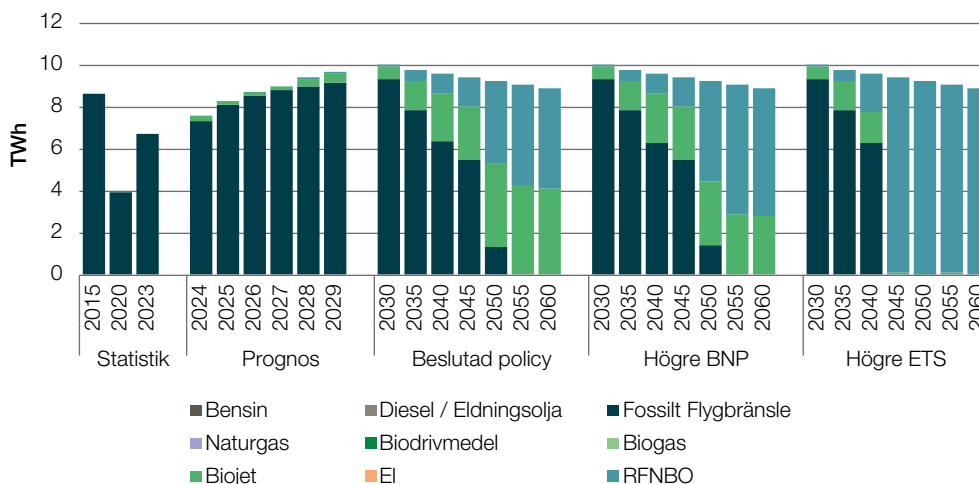
Figur 78. Utrikes sjöfarts energianvändning statistik (2019–2023), prognos (2024–2027), och *Beslutad policy* och känslighetsfallen (2030–2060), TWh.

¹³³ EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS FÖRORDNING (EU) 2023/1805 av den 13 september 2023 om användning av förnybara och koldioxidsnåla bränslen för sjötransport och om ändring av direktiv 2009/16/EG (FuelEU Maritime).

C.4.6 Utrikes Luftfart

Ett liknande resultat som det som ses i inrikes luftfart ses i utrikes luftfart (Figur 79).

Övergången till biojet och elektrobränslen inom utrikesluftfart följer de minimikrav som anges i ReFuelEU Aviation¹³⁴ i *Beslutad policy* och *Högre BNP*. I *Högre ETS* leder de högre utsläppsprästpriserna till full utfasning av fossila bränslen 2045 med en högre användning av elektrobränslen till följd av ökad konkurrens om biobränslen.



Figur 79. Utrikes luftfarts energianvändning statistik (2019–2023), prognos (2024–2027), och *Beslutad policy* och känslighetsfallen (2030–2060); TWh.

C.5 Bostäder och service m.m.

Inom sektorn bostäder och service minskar den totala energianvändningen fram till 2035 för att sedan generellt lägga sig på en stabil nivå för *Beslutad policy* och tillhörande känslighetsfall. Det är inga större skillnader i slutlig energianvändning mellan de olika fallen.

Elanvändningen ökar generellt i samtliga fall. Det beror främst på en ökad elanvändning inom datacenter men också till en viss del på grund av elektrifiering av arbetsmaskiner. Den slutliga energianvändningen för uppvärmning minskar generellt i *Beslutad policy* och tillhörande känslighetsfall på grund av att det är lönsamt med energieffektiviseringar och att elvärme fasas ut till förmån för värmepumpar. Fjärrvärme och värmepumpar dominerar som uppvärmningskälla i samtliga fall trots minskad andel från fjärrvärme. Fjärrvärmens konkurrenskraft minskar på grund av dyrare bränslen och ökad efterfrågan på biobränslen inom de andra sektorerna. Total energianvändning för arbetsmaskiner minskar generellt i samtliga fall på grund av elektrifiering. Det är främst HVO och el som används i arbetsmaskiner mot slutet av scenarioperioden, och fossila bränslen har helt bytts ut mot biodrivmedel 2040 eller 2045.

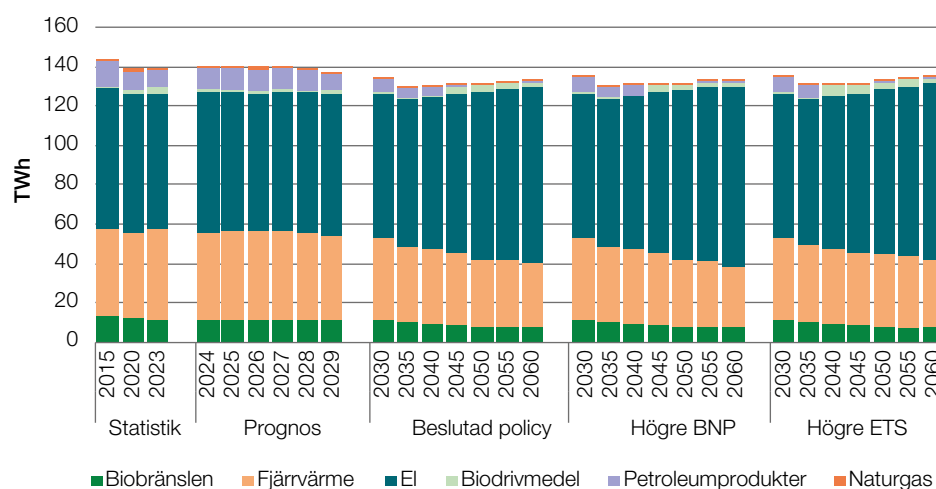
¹³⁴ EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS FÖRORDNING (EU) 2023/2405 av den 18 oktober 2023 om säkerställande av lika villkor för hållbar lufttransport (ReFuelEU Aviation).

C.5.1 Om sektorn bostäder och service m.m.

I sektorn bostäder och service med mera ingår flera delsektorer. Här ingår energianvändningen för hushåll, service¹³⁵, jordbruk, skogsbruk, fiske och byggsektor. Energianvändningen är fördelad på olika energibärare. Den slutliga energianvändningen för denna sektor uppgick till cirka 140 TWh 2023. Mellan 2015 och 2023 har energianvändningen varierat mellan 140 och 150 TWh per år. Hushållen stod för 60 procent av sektorns energianvändning 2023, service 31 procent och de övriga delsektorerna jordbruk, skogsbruk, fiske och byggsektor 9 procent. Energianvändningen för uppvärmning och varmvatten i bostäder och lokaler står för ungefär hälften av sektorns energianvändning. Detta varierar dock mellan olika år eftersom energianvändningen för uppvärmning påverkas av utomhustemperaturen. Elanvändningen är en stor del av energianvändningen, där största delen går till hushållsel och fastighetsel.

C.5.2 Slutlig energianvändning i sektorn bostäder och service m.m.

Den slutliga energianvändningen i sektorn minskar fram till 2035 i *Beslutad policy* och tillhörande känslighetsfall för att sedan ligga på en stabil nivå i slutet av scenarioperioden, se Figur 80. Detta sker trots att elanvändningen ökar i sektorn från dagens ca 70 TWh till 90 TWh år 2060, där tillkommande datacenter är den främsta förklaringen till ökningen. Detta kompenseras av energieffektiviserande åtgärder och ett varmare klimat som kräver mindre energi för uppvärmning, men även konvertering från fjärrvärme till värmepumpar i bostäder och lokaler.



Figur 80. Slutlig energianvändning i sektorn bostäder och service m.m. 2010, 2015, 2020, 2023 prognos för åren 2024–2029 samt *Beslutad policy* och tillhörande känslighetsfall 2030–2060, TWh.

Biobränsleanvändningen minskar i *Beslutad policy* och tillhörande känslighetsfall till följd av ökad konkurrens om biomassan, vilket ger högre biobränslepriser. Höga biobränslepriser påverkar även fjärrvärmeanvändningen, som också minskar till förmån för värmepumpar och energieffektivisering. Den totala elanvändningen ökar i samtliga fall främst på grund av ökad elanvändning för datacenter, arbetsmaskiner och nybyggnation. Fossila energikällor som petroleumprodukter och naturgas minskar i samtliga fall och ersätts av biodrivmedel och el.

¹³⁵ Som exempelvis hotell och restaurang, vård, utbildning, IT och datacenter, kultur och nöje, försäkrings- och finansverksamhet, uthyrning och fastighetsverksamhet samt annan serviceverksamhet.

C.5.3 Bostäder och lokaler

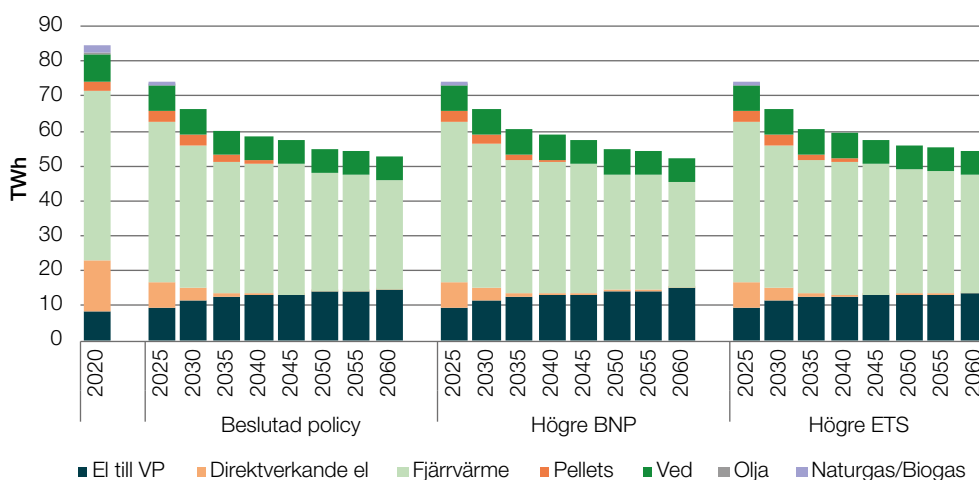
Bostäder och lokaler utgörs av småhus, flerbostadshus och lokaler. Energianvändningen omfattar främst uppvärmning och varmvatten samt hushållsel och fastighetsel.

Energianvändning för uppvärmning och varmvatten

Den slutliga energianvändningen för uppvärmning och varmvatten minskar under scenarioperioden redan från 2025 i *Beslutad policy* och tillhörande känslighetsfall. Minskningen sker trots en antagen befolkningsökning och att det byggs nya bostäder och lokaler i Sverige. Det finns tre viktiga orsaker till att energianvändningen för uppvärmning och varmvatten för befintlig bebyggelse minskar:

- Värmepumpar ersätter direktverkande el och börjar ta marknadsandelar av fjärrvärmens.
- Energieffektiviserande åtgärder genomförs i befintlig bebyggelse.
- Klimatförändringar antas ge ett lägre uppvärmningsbehov.

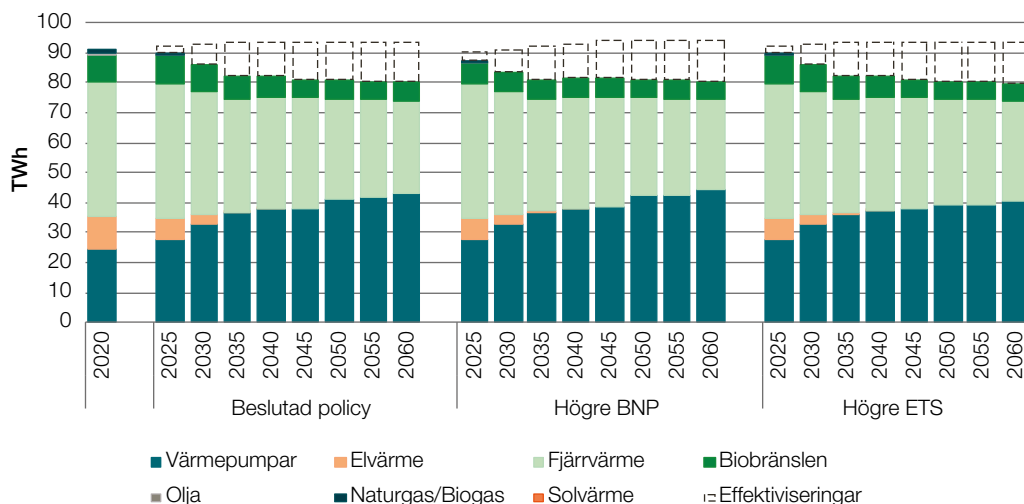
I Figur 81 redovisas utvecklingen och där syns tydligt hur direktverkande el och fjärrvärme minskar relativt mycket fram till 2060. Fjärrvärmens roll försvagas på grund av att biobränslen, som är den huvudsakliga energibäraren för fjärrvärmeproduktion i dagens energisystem, blir allt dyrare i framtiden. Både värmepumpar och energieffektivisering har stor påverkan på hur den slutliga energianvändningen utvecklas i sektorn. Om inga värmepumpar installerades eller effektiviseringar genomfördes skulle energianvändningen för uppvärmning och varmvatten i bostäder öka.



Figur 81. Slutlig energianvändning uppdelat på uppvärmningssätt i bostäder och lokaler, TWh.

Anm: År 2020 är ett modellresultat baserat på 2020 års statistik.

Den slutliga energianvändningen inkluderar inte upptagen energi från värmepumpar och energieffektivisering. Tittar man i stället på så kallad nyttig energi (värmebehovet som antingen uppfyllas via energieffektivisering eller värmeförsörjning, där exempelvis upptagen energi från värmepumpar bidrar) för uppvärmning och varmvatten i bostäder och lokaler så ses endast en marginell ökning över scenarioperioden. Den lilla ökning som sker, sker till följd av nybyggnation. Ökningen i värmebehovet bromsas samtidigt dels av det minskade uppvärmningsbehov som varmare utomhustemperaturer leder till, dels av energieffektivisering.

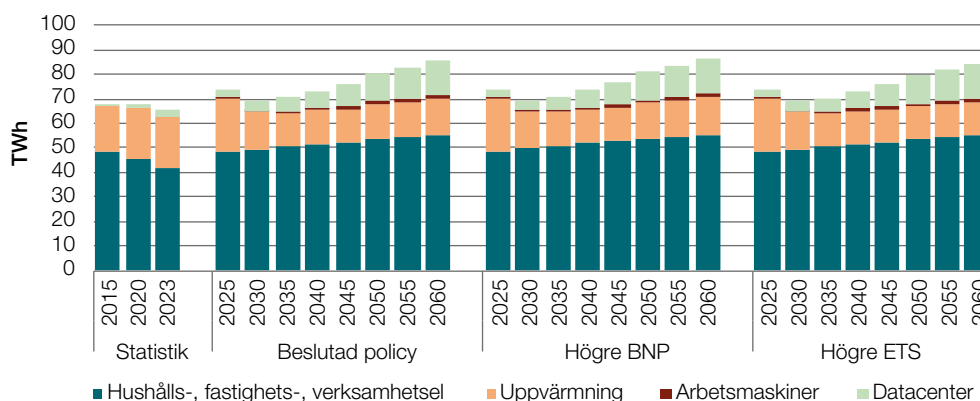


Figur 82. Nyttig energi för uppvärmning och varmvatten för bostäder och lokaler uppdelat på uppvärmningssätt och energieffektivisering, TWh.

Anm: År 2020 är ett modellresultat baserat på 2020 års statistik.

Elanvändning i bostäder och service m.m.

Elanvändningen för olika användningsområden inom bostäder och service redovisas i Figur 83. Den elanvändningen som ökar som mest och förändras är den el som går till datacenter. Datacenter växer idag kraftigt till följd av en ökad digitalisering i samhället och att allt fler internationella företag ser fördelar med att bygga datacenter i Sverige. Läs mer om datacenters utveckling och antagande i Bilaga B – Metodbilaga. I *Beslutad policy* och tillhörande känslighetsfall har ingen skillnad gjorts på elanvändningen för datacenter.



Figur 83. Elanvändning inom bostäder och service m.m., TWh.

Användning av hushålls- och fastighetsel påverkas av två motsatta trender. Den första är att utvecklingen regleras av Ekodesigndirektivet¹³⁶ som går mot hårdare krav på mer effektiva installationer och apparater. Den andra trenden är att innehavet av apparater och installationer som kräver el ökar. För hushåll gäller det speciellt hemelektronik som TV, datorer och kringutrustning. De två trenderna antas ta ut varandra och elanvändningen per kvadratmeter sätts konstant från 2022. Den totala användningen av hushållsel och fastighetsel i bostäder och lokaler ökar i samtliga fall i takt med att det byggs fler bostäder och lokaler. I *Högre BNP* byggs det mer bostäder jämfört med *Beslutad policy*, vilket leder till att elanvändningen är lite högre.

¹³⁶ EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS DIREKTIV 2009/125/EG av den 21 oktober 2009 om upprättande av en ram för att fastställa krav på ekodesign för energirelaterade produkter.

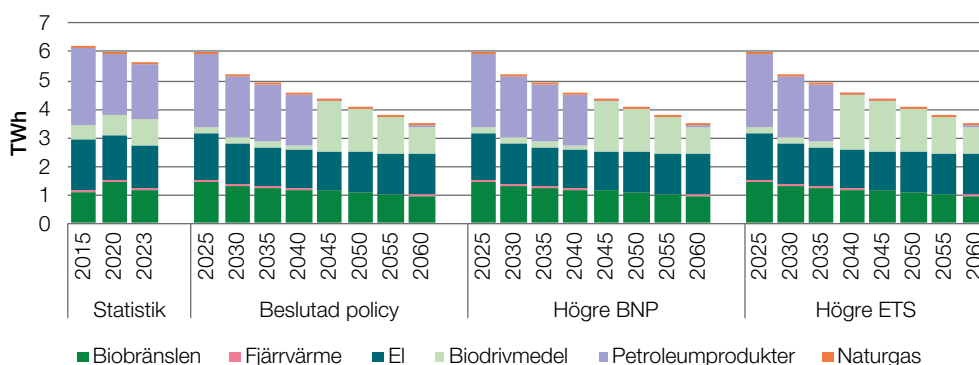
Elanvändningen för uppvärmning minskar på grund av att direktverkande el byts ut mot el till värmepumpar, som är mer energieffektiva. Värmepumparna tar då marknadsandelar av fjärrvärmen.

El till arbetsmaskiner ökar även i *Beslutad policy* och tillhörande känslighetsfall på grund av elektrifiering av arbetsmaskiner. Det görs ingen skillnad på elektrifieringstakten i något av fallen.

C.5.4 De areella näringarna

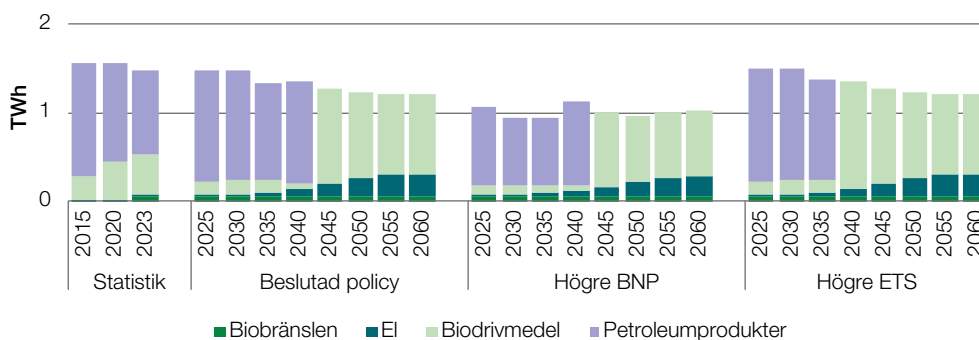
I de areella näringarna ingår jordbruk, skogsbruk och fiske. Inom de areella näringarna används framför allt arbetsmaskiner.

Jordbrukets energianvändning minskar i *Beslutad policy* och tillhörande känslighetsfall vilket beror på en produktionsminskning av både grödor och kött, se Figur 84. Produktionen av grödor och kött baseras på Jordbruksverkets scenarier.¹³⁷ Det sker även en liten minskning på grund av elektrifiering av arbetsmaskiner.



Figur 84. Jordbrukets slutliga energianvändning fördelad per energibärare i *Beslutad policy* och tillhörande känslighetsfall, TWh.

Skogsbrukets energianvändning ser en liknande utveckling i samtliga fall, se Figur 85. Utvecklingen på skogsbruket grundar sig på Skogsstyrelsens skogliga konsekvensanalyser från 2022¹³⁸. I samtliga fall sker det en viss elektrifiering av arbetsmaskiner men den stora förändringen som sker är att den fossila dieseln ersätts av biodiesel.



Figur 85. Skogsbrukets totala energianvändning fördelad per energibärare i *Beslutad policy* och tillhörande känslighetsfall, TWh.

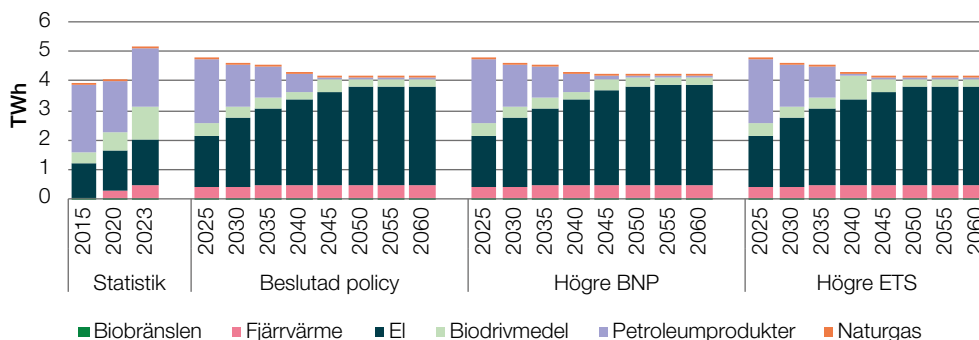
¹³⁷ Mejlkontakt med Per Bodin på Jordbruksverket, 2022-09-23.

¹³⁸ Skogsstyrelsen, Skogliga konsekvensanalyser, <https://www.skogsstyrelsen.se/mer-om-skog/skogliga-konsekvensanalyser/> (2024-11-27)

Fiskesektors energianvändning är en väldigt liten del av sektorns energianvändning. Energi-användningen antas vara konstant under hela prognosperioden för *Beslutad policy* och tillhörande känslighetsfall.

C.5.5 Byggsektorn

Den totala energianvändningen inom byggsektorn minskar generellt i alla fall, se Figur 86. Det finns små skillnader mellan de olika fallen. I *Högre BNP* är arbetade timmar inom byggbranschen fler jämfört med *Beslutad policy*.

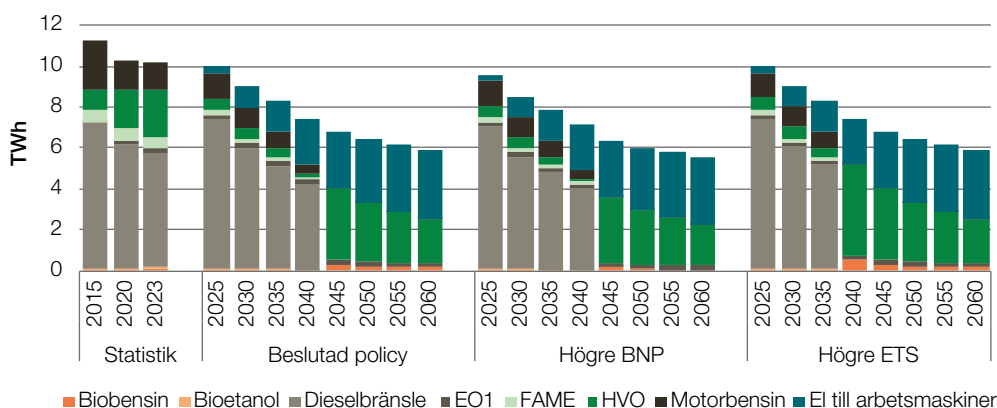


Figur 86. Byggsektors energianvändning per energibärare i *Beslutad policy* och tillhörande känslighetsfall, TWh.

Anm: HBNP = Högre BNP och HETS = Högre ETS.

C.5.6 Arbetsmaskiner inom bostäder och service m.m.

Den totala energianvändningen för arbetsmaskiner minskar i *Beslutad policy* och tillhörande känslighetsfall. Detta grundar sig främst på elektrifieringen av arbetsmaskiner. Vidare sker också en övergång från fossil diesel och bensin till biodiesel och biobensin. Denna övergång som sker i samtliga delsektorer beror på att användningen av fossila drivmedel och till arbetsmaskiner och utsläppen från dessa inkluderas i utsläppshandelssystemet, ETS 2. Det gör att det blir mer lönsamt att använda biodrivmedel i stället. Figur 87 visar energianvändningen per energibärare för alla delsektorer i *Beslutad policy* och tillhörande känslighetsfall.



Figur 87. Energianvändning för arbetsmaskiner i Bostäder och service m.m. för *Beslutad policy* och tillhörande känslighetsfall, TWh.

Antagandet om ökad elektrifiering är lika för *Beslutad policy* och tillhörande känslighetsfall. Det förutsätts att arbetsmaskiner kommer att elektrifieras i stor utsträckning, men det som skiljer är takten på elektrifieringen i de olika delsektorerna. Elektrifieringen antas gå snabbast inom hushållssektorn och byggsektorn medan det antas att det kommer ta längst tid inom skogsbruket och vissa delar av jordbruket. De olika antagna elektrifieringstakterna framgår i Bilaga B – Metodbilaga.

Elmotorer är mycket mer energieffektiva än förbränningsmotorer. I förbränningsmotorer blir den övervägande delen av den tillförda energin värme som måste kylas bort. Elektrifieringen medför alltså en betydande energieffektivisering.

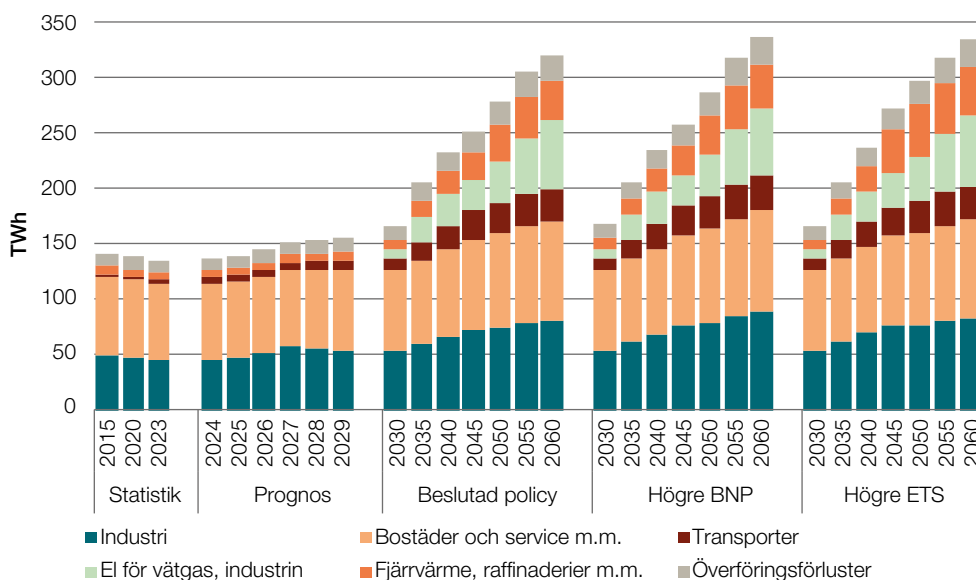
Fossil diesel och motorbensin till arbetsmaskiner minskar kraftigt 2040 i *Högre ETS*.

I *Beslutad policy* och *Högre BNP* minskar de fossila drivmedlen 2045. De fossila drivmedlen ersätts av HVO, biobensin och el. Små mängder fossila drivmedel finns kvar, exempelvis en liten mängd eldningsolja finns kvar inom fiskesektorn.

C.6 Elanvändning och elproduktion

C.6.1 Elanvändning ökar mycket i samtliga fall

Elanvändningen ökar kraftigt till mellan 320 och 340 TWh till 2060 i *Beslutad policy* och tillhörande känslighetsfall. Det är främst industrin som står för ökningen av elanvändningen för den produktion som går till vätgas inom industrin, men även i bostäder och service m.m. och transportsektorn ökar elanvändningen (se Figur 88). Mer om utvecklingen av elanvändningen och vilka osäkerheter som föreligger för respektive fall går att läsa om i respektive sektors avsnitt.



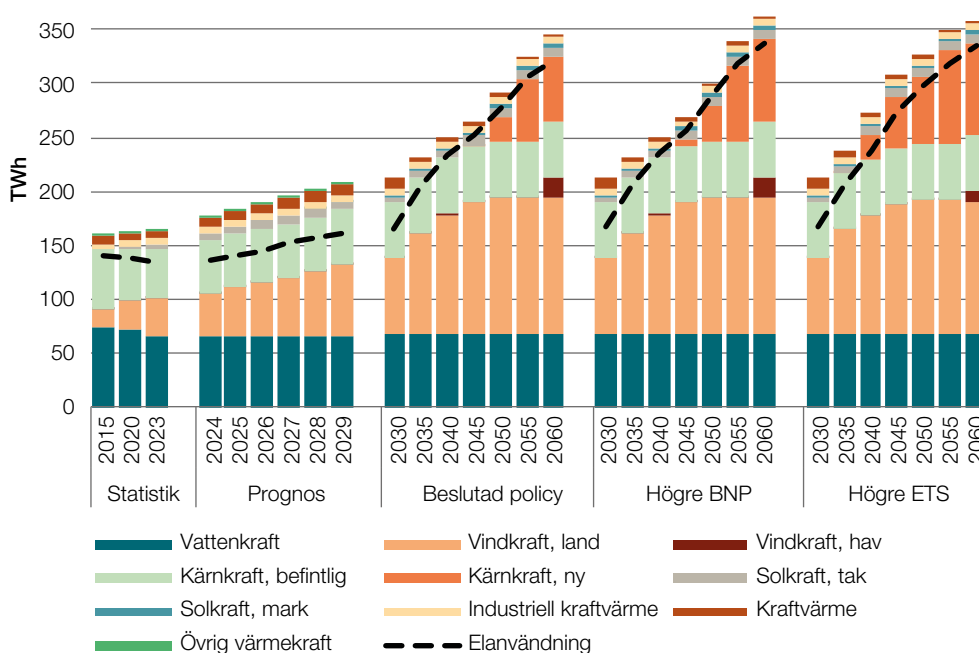
Figur 88. Elanvändning i Sverige uppdelat per sektor 2015, 2020, 2023 prognos för åren 2024–2029 samt *Beslutad policy* och tillhörande känslighetsfall 2030–2050, TWh.

För att elanvändningen ska kunna öka så mycket som redovisas i de olika fallen krävs också att såväl elnät som elproduktion kan byggas ut i stor omfattning för att kunna tillgodose den ökande efterfrågan. Det finns ett ömsesidigt beroende mellan användning, produktion och elnätsutbyggnad. Vilka förutsättningar de olika delarna har och hur de utvecklas kommer att vara avgörande för hur den framtida utvecklingen av elsystemet kommer att se ut.

C.6.2 Elproduktionen ökar kraftigt i samtliga fall

Elproduktionen ökar också i *Beslutad policy* och tillhörande känslighetsfall och uppgår till mellan 345–360 TWh 2060 (se Figur 89). Elproduktionsmixen på längre sikt är ett resultat av en relativt känslig balans mellan kostnadsantaganden och potentialer för vindkraft på land, till havs, kärnkraft och handeln med andra länder. Om någon av beräkningsförutsättningarna ändras för något av kraftslagen, exempelvis kostnadsbilden eller utbyggnadstakten, förskjuts denna balans. Exempelvis är det inte så stor skillnad mellan antagna kostnader för havsbaserad vindkraft och ny kärnkraft, vilket innebär att om dessa kostnader justeras något förändras konkurrensen mellan kraftslagen. Vidare är landbaserad vind konkurrenskraftig kostnadsmässigt och ökar potentialen för denna sker också i regel mer investering i landbaserad vindkraft i stället för till exempel ny kärnkraft och havsbaserad vindkraft.

På elmarknaden, precis som på andra marknader, finns en långsiktig och ömsesidig påverkan mellan utbud och efterfrågan vilket innebär att den elproduktionsmix vi får och den el som efterfrågas beror av varandra. Denna process styrs av prissignaler (det faktiska och förväntade framtida elpriset). Elproducenter kommer inte att satsa på nya anläggningar om priset är för lågt och/eller om det inte förväntas efterfrågas mer el i framtiden. Stora elanvändare kommer inte heller att satsa om de tror att elpriset kommer att bli för högt på grund av att det inte kan tillkomma mer elproduktion (oavsett om det sker via importkablar eller elproduktion i Sverige).



Figur 89. Elproduktion uppdelat på produktionsslag och elanvändning 2015, 2020, 2023 prognos för åren 2024–2029 samt *Beslutad policy* och tillhörande känslighetsfall 2030–2060, TWh.

C.6.3 Ny kärnkraft och drifttidsförlängning

Antaganden för befintlig kärnkraft är samma i *Beslutad policy* och tillhörande känslighetsfall, det vill säga att det finns sex kvarvarande reaktorer efter 2020. Om de idag sex kvarvarande reaktorerna har en livslängd på 60 år stänger de mellan 2038 och 2045. I samtliga fall finns möjligheten till drifttidsförlängning för samtliga reaktorer fram till 2060. Denna förlängning blir också lönsam i modellen, utifrån de kostnadsantaganden som gjorts, och förlängningen aktualiseras i samtliga fall. Det innebär att elproduktionen från drifttidsförlängd kärnkraft

uppgår till 52 TWh 2060. Att bedöma lönsamhet för befintlig kärnkraft i framtiden är naturligtvis förknippat med stora osäkerheter då en anläggnings fortsatta drift är beroende av att intäkterna täcker upp för driftkostnader och nödvändiga återinvesteringar. Både driftkostnader och återinvesteringar är hos kärnkraften starkt kopplade till politiska beslut om till exempel säkerhetskrav och hantering av avfall.

Det finns även möjlighet att investera i ny kärnkraft, vilket också blir lönsamt i *Beslutad policy* och tillhörande känslighetsfall givet de kostnadsantaganden som görs. Totalt investeras det mellan 7–11 GW i ny kärnkraft i de olika fallen. Lägst nivå är i *Beslutad policy* där ny kärnkraft kommer in först 2050 och högst är det i *Högre ETS* där det redan 2040 investeras i 3 GW ny kärnkraft.

Att bedöma och sätta kostnadsantaganden för ny kärnkraft är svårt. Det finns en stor variation i kostnaden för projekt som genomförts runt om i världen, där de senaste projekten i Europa indikerar väldigt höga kostnader medan kostnaden för att bygga kärnkraft i till exempel Sydkorea verkar kunna vara betydligt lägre. Det tillsammans med att Energimyndigheten i tidigare analyser sett att resultaten för elproduktionsmixen också är väldigt känsliga för vilka kostnadsantaganden som används för kärnkraft relativt andra kraftslag har medfört att ett antal känslighetsanalyser på investeringskostnaden för ny kärnkraft har genomförts.

I grundantagandet för basfallet uppgår investeringskostnaden (OIC – overnight investment cost) till cirka 60 000 kronor per kW i 2021 års prisnivå. Två känslighetsanalyser där detta antagande varieras med ± 15 procent har genomförts. Höjs investeringskostnaden med 15 procent sker inga investeringar i ny kärnkraft. I stället investeras det i framför allt havsbaserad vindkraft men även mer solkraft. Den installerade kapaciteten för kraftvärme blir också högre när ny kärnkraft inte blir lönsam och även gasturbiner för topplastkapacitet blir mer lönsamt.

Sänks investeringskostnaden å andra sidan med 15 procent ökar den installerade kapaciteten för ny kärnkraft till drygt 14 GW och de första investeringarna sker redan 2035 med 1,5 GW. Det resulterar också i att de kraftslag och tekniker som gynnades av att kärnkraften var dyrare nu missgynnas och det sker mindre investering i dessa.

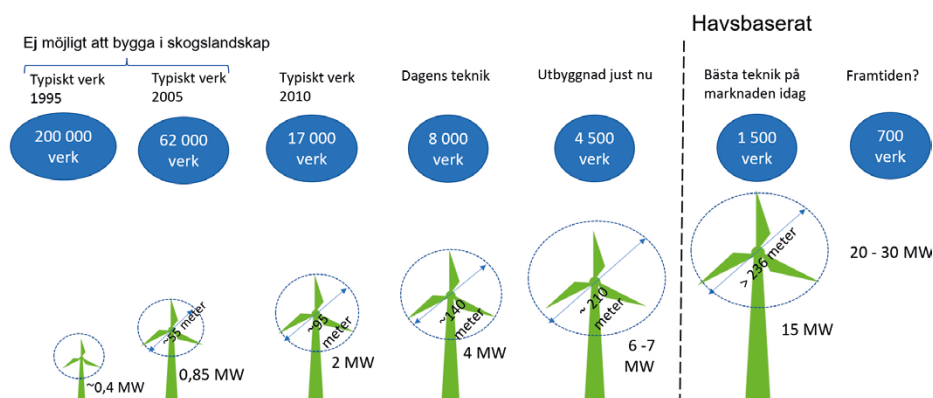
C.6.4 Kraftig ökning av vindkraft på land

Vindkraften på land byggs ut mycket i *Beslutad policy* och tillhörande känslighetsfall och producerar drygt 120 TWh i slutet av scenarioperioden. Vindkraft på land byggs utan stödsystem i takt med att elpriserna stiger i samtliga fall. När befintliga turbiner senare tjänat ut kan de i modellen ersättas med nyare och effektivare turbiner på befintlig plats. Kostnaden antas då reduceras till cirka 80 procent av kostnaden för ett nytt vindkraftverk då vägar, nätanslutningar och annan infrastruktur antas återutnyttjas.

Potentialen för landbaserad vind utnyttjas fullt ut och det är ingen större skillnad mellan de olika fallen. Det är dock svårt att veta vilken potential som är rimlig att anta för vindkraft på land. Det beror på att byggandet av stora volymer vindkraft (resonemanget gäller egentligen även för utbyggnad av elnät och till viss del även andra kraftslag) också innebär andra utmaningar än lönsamhet. Även om Sverige är ett relativt stort och glesbefolkat land och har kuster med goda vindförhållanden finns också andra intressen med markanspråk. Det rör sig till exempel om skyddad natur- och kulturmiljö, bebyggelse och infrastruktur samt försvarets intressen. Även om acceptansen för förnybar energi är hög betyder det inte att lokal acceptans för vindkraft alltid finns. Tillståndsprocessen är ytterligare en utmaning för

etablering av vindkraft. I Energimyndighetens rapport Vindkraftens tillstånd¹³⁹ presenteras en rad åtgärder för att hantera de identifierade hindren i tillståndsprocessen som försvårar utbyggnaden. Anslutning och utbyggnad av elnät kan i vissa regioner vara en begränsande faktor för anslutningar av både land- och havsbaserad vindkraft eller att tillstånd som givits inte utnyttjas.

En kraftig ökning av vindkraft betyder inte nödvändigtvis fler vindkraftverk då vindturbinerna utvecklas och blir större men också effektivare, bland annat tack vare större rotorerna som fångar mer vind. Räkneexemplet nedan (Figur 90) visar att det inte behövs fler vindkraftverk än de som finns idag för att producera mer el. Utvecklingen leder till att det kommer krävas färre verk för att producera samma mängd el.



Figur 90. Räkneexempel över hur många vindkraftverk som krävs för att producera 100 TWh med olika turbintekniker.

Havsbaserad vindkraft kommer in först i slutet av scenarioperioden i *Beslutad policy* och tillhörande känslighetsfall och produktionen från dessa uppgår då till mellan 10–19 TWh. Att det inte blir mer tidigare beror på att det, givet de kostnadsantaganden som görs, är mer intressant att investera i ny kärnkraft i *Beslutad policy*. Känslighetsanalysen som redogjordes för under kärnkraftsavsnittet visar att ifall en högre investeringskostnad antas för ny kärnkraft blir det betydligt mer intressant att investera i havsbaserad vindkraft.

C.6.5 Kraftvärmens minskar mycket men industriellt mottryck är kvar på samma nivå

Produktionen från industriellt mottryck ligger kvar på liknande nivåer som idag och uppgår till cirka 6 TWh i slutet av scenarioperioden. Elproduktion från kraftvärme minskar dock kraftigt under perioden och uppgår i slutet av perioden till enbart 2 TWh. Det finns flera faktorer som bidrar till att kraftvärmens blir mindre konkurrenskraftig i de scenarier som Energimyndigheten tar fram. Den viktigaste förklaringen är att konkurrensen om biomassan ökar och gör den mer attraktiv att använda i andra delar av energisystemet, främst biodrivmedelsproduktion. Det beror bland annat på ökade krav på inblandning av biodrivmedel i flyg- och sjöfart. Den ökade konkurrensen om biomassan gör att priset på den ökar vilket i sin tur gör att fjärrvärmens tappar i konkurrenskraft på värmemarknaden till förmån för framför allt värmepumpar och energieffektivisering. När värmeunderlaget minskar, minskar också potentialen för kraftvärme. Vidare så leder klimatförändringarna på sikt till att värmebehovet i befintlig bebyggelse minskar, vilket också påverkar värmeunderlaget för fjärrvärmens negativt.

¹³⁹ Vindkraftens tillstånd 2021

C.6.6 Vattenkraftsproduktion ökar något

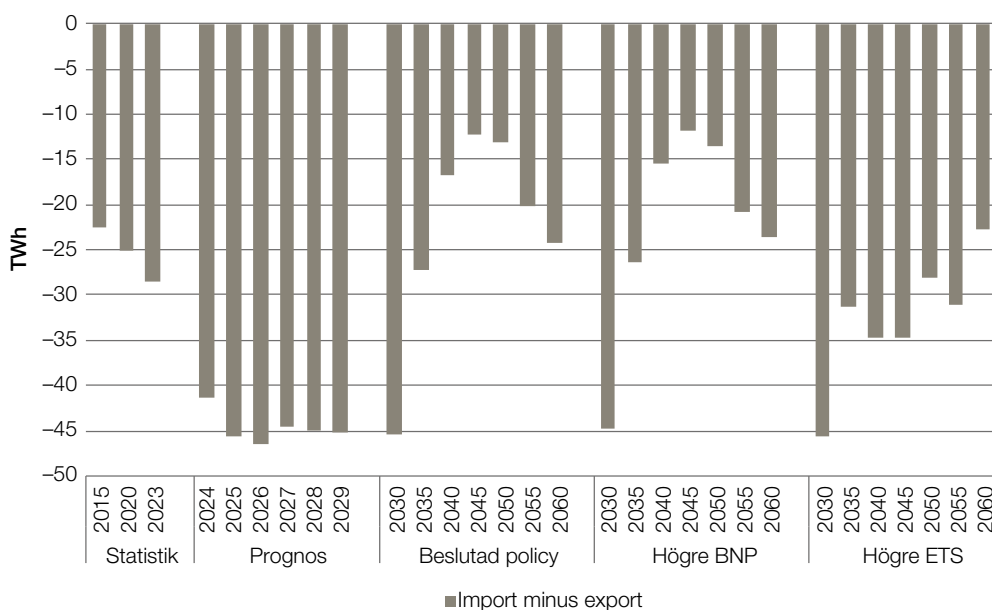
Vattenkraften antas producera som ett genomsnittligt år i *Beslutad policy* och känslighetsfallen. Sålunda analyseras inte effekterna av ett torr- eller våtår. I *Beslutad policy* och tillhörande känslighetsfall antas dock en ökad produktion på grund av en ökad tillrinning som beror på klimatförändringar. Samtidigt dämpas denna produktionsökning något då samtliga vattenkraftverk står inför nya krav på miljöanpassningar enligt vattendirektivet. Sammantaget betyder det en antagen produktionsökning på 0,5 TWh och att vattenkraftsproduktionen hamnar på cirka 68 TWh 2060. Detta antagande gäller för samtliga analyserade fall.

C.6.7 Solelproduktionen växer

Solelproduktionen ökar till 2060 och uppgår till 13 TWh i *Beslutad policy* och känslighetsfallen. Solceller på tak utgör 8 TWh och resterande är solcellsparker. Skattereduktion för inmatning av el är inte inkluderad eftersom regeringen i september 2024 aviserade att den ska tas bort¹⁴⁰.

C.6.8 Handel

I *Beslutad policy* och dess känslighetsfall är Sverige fortsatt en stor nettoexportör av el i slutet av perioden, men inte lika stor som idag (se Figur 91). År 2060 uppgår nettoexporten till knappt 25 TWh. Även om nettohandeln på årsbasis avtar något över tid är handeln i absoluta tal mycket omfattande. Med andra ord är både export- och importflödena stora i modelleringsresultaten. Det sker också nya investeringar i transmission, inte minst mellan Sverige och kontinenten, där elpriserna periodvis kan vara mycket olika. Transmissionskapaciteten mellan Norden och Tyskland/Polen ökar från 4 GW 2020 till 12 GW 2050 i samtliga fall.



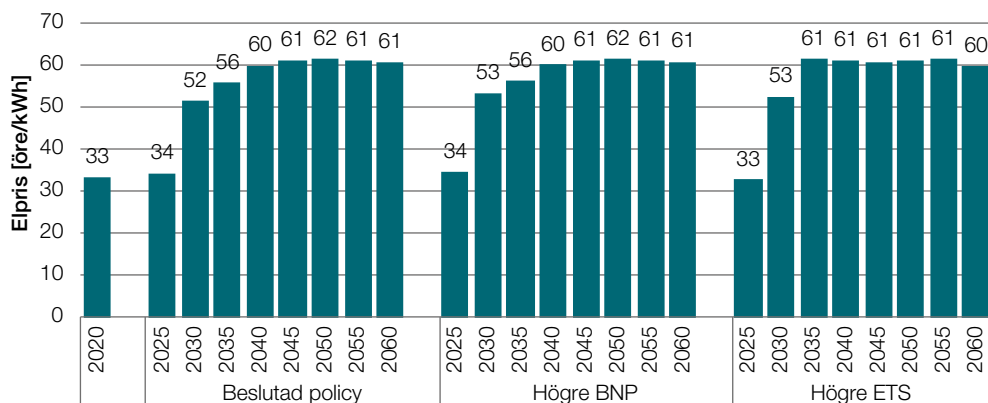
Figur 91. Nettohandel för Sverige i de olika *Beslutad policy* och känslighetsfallen, nettoexport (-) och nettoimport (+), TWh.

¹⁴⁰ Förändrade skattesubventioner för solceller – Regeringen.se

Det finns flera faktorer som gör att denna handel skulle kunna se annorlunda ut i verkligheten. Utfallet påverkas såväl av den inhemska som av grannländernas efterfrågan på el samt antaganden, såsom kostnader och potential, kring utbyggnad av ny elproduktion. Stödsystem för förnybart omfattas generellt inte av modellbeskrivningen i länderna utanför Sverige utan här används produktionsmål som finns uttryckta i respektive länders nationella planer. Detta påverkar utbyggnaden av elproduktion i dessa länder och därmed handeln mellan länderna. Exempelvis medför de mycket ambitiösa planerna på förnybart i Tyskland att den omfattande utbyggnaden för solel pressar priserna under sommardagar så pass att exporten ut från Tyskland under de perioderna blir relativt omfattande. Även den kraftiga utbyggnad av transmissionskapacitet som sker i modelleringarna behöver inte nödvändigtvis ske. Sammantaget innebär detta en osäkerhet vad gäller utvecklingen av handeln mellan Sverige och angränsande länder och bara genom att ändra på något av de centrala antagandena kan resultaten förändras relativt mycket. Inom ramen för detta arbete har det dock inte gjorts några känslighetsfall eller fördjupade analyser på detta område.

C.6.9 Elpriser

Elprisutvecklingen¹⁴¹, motsvarande spotpriset på el, redovisas i Figur 92. Elpriserna är beräknade som årliga genomsnitt för Sverige som i modellen behandlas som ett prisområde. I *Beslutad policy* och känslighetsfallen stiger elpriset 2060 till drygt 60 öre per kWh. Orsaken till att elpriset stiger beror på en ökad efterfrågan på el, ökad marknadskoppling mot kontinenten samt stigande bränsle- och utsläppsriktpriser. I takt med att efterfrågan på el ökar leder det också till att elproduktionen som har högre marginalkostnad måste tillföras för att tillgodose behovet vilket resulterar i, allt annat lika, högre priser.



Figur 92. Elpriser för Sverige (motsvarande spotpriser) för *Beslutad policy* och tillhörande känslighetsfall, öre/kWh, fasta priser 2021 års prisnivå.

Anm: BP = Beslutad policy, HBNP = Högre BNP och HES = Högre ETS.

C.6.10 Modell och antaganden

I scenarioarbetet använder Energimyndigheten energisystemmodellen Times-Nordic som innefattar både fjärrvärme- och elsystemet i Sverige. Utöver det finns resterande nordiska länder, Baltikum, Polen och Tyskland representerade för elmarknaden. Modellen har fyra

¹⁴¹ Elpriserna för 2020 är modellresultat och baseras på normalår för till exempel vattenkraft och speglar därför inte fullt ut de faktiska förhållandena för 2020, det vill säga mycket god tillgång till vindkraft, välfyllda vattenmagasin och en dämpad efterfrågan inte minst under vintern.

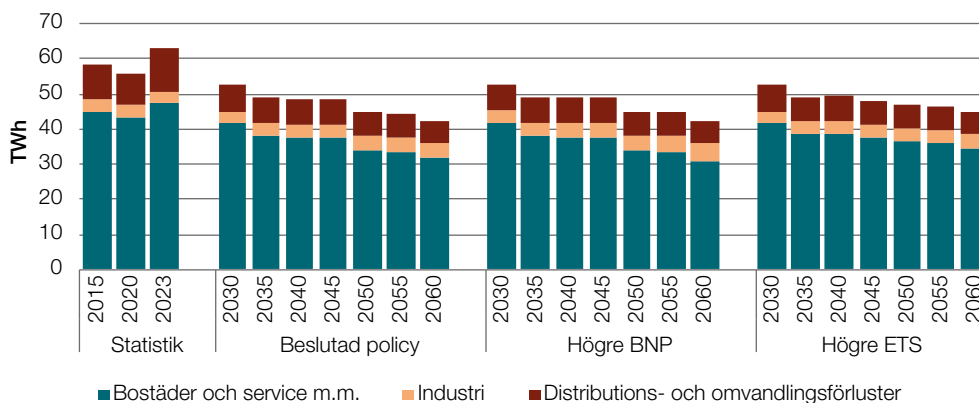
säsonger (vinter, vår, sommar, höst) och dygnet är indelat i tre perioder (dag, natt och peak). Sverige och Norge är ett elområde.

Detta innebär att resultaten som redovisas i denna rapport inte helt fångar upp den dynamik som finns på den nordiska/europeiska elmarknaden i verkligheten. Det är också viktigt att komma ihåg att resultaten som redovisas här inte är några prognoser eller vad Energi-myndigheten tror kommer att hända utan ett resultat av vad som kan hända givet antaganden om elanvändning, kostnader för ny elproduktion, potentialer för ny elproduktion, potential för utbyggnad av transmissionskapacitet, bränslepriser m.m.

C.7 Användning och produktion av fjärrvärme

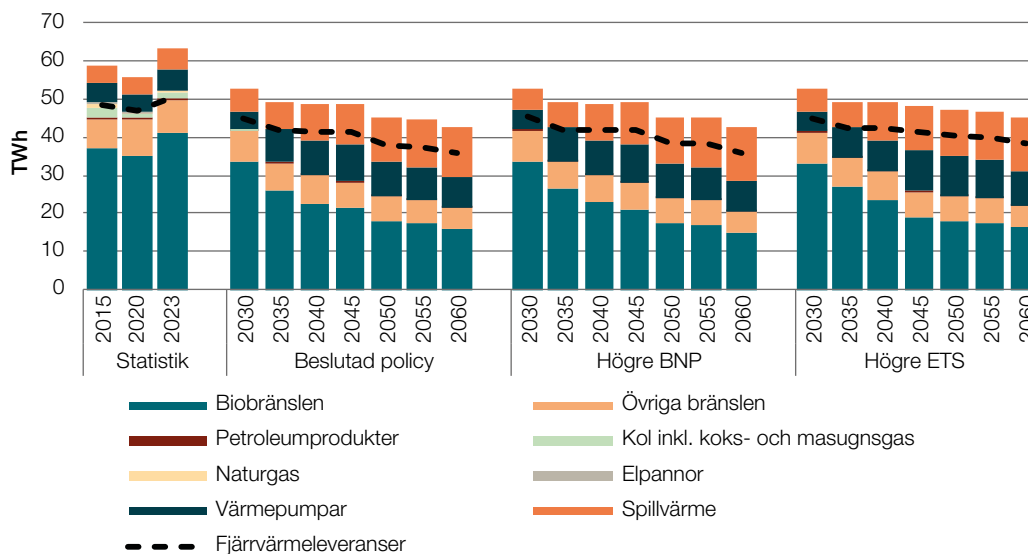
Användning och produktion av fjärrvärme styrs i hög grad av värmebehovet för uppvärmning i bostadssektorn men även i industrin. Bostäders värmebehov och använd fjärrvärme varierar kortsiktigt med skiftande utetemperaturer och långsiktigt med befolkningsutveckling samt hur fjärrvärmerna står sig i konkurrens med andra uppvärmningsformer på marknaden.

Fjärrvärmeanvändning, som illustreras i Figur 93, visar en nedgång från dagens nivå och ligger i slutet av perioden (2050) för *Beslutad policy* på 38 TWh, vilket motsvarar runt 75 procent av användningen 2023. Jämfört med 2020, som var väldigt varmt och med lågt värmebehov för uppvärmning och även relativt lågt tillförd energi för fjärrvärmeproduktion (Figur 94), skulle den framtida användningen i stället landa på runt 80 procent. Den minskade efterfrågan på fjärrvärme sker till följd av lönsamma energieffektiviseringar i byggnadsbeståndet men även på grund av dyrare fjärrvärmeproduktion (stigande biobränslepriser) och ökad konkurrens med individuella värmepumpar (användarledet) på uppvärmningsmarknaden.



Figur 93. Fjärrvärmeanvändning för några historiska år och *Beslutad policy* och tillhörande känslighetsfall till och med år 2060.

Biobränslens dominans i tillförd energi för fjärrvärmeproduktion i *Beslutad policy* och känslighetsfallen (Figur 94) minskar efter år 2030 och fjärrvärme utvecklas till en mer förbränningsfri produktion med stora andelar värmepumpar och spillvärme, typiskt runt 50 procent av energitillförseln i slutet av scenarioperioden (2050). I *Högre ETS* dämpas fjärrvärmens nedgång något genom en högre prisnivå i handelssystemet för utsläppsätter. El är ett viktigt energislag i fjärrvärmeproduktionen och används framför allt i de stora värmepumparna. Det växande bidraget från spillvärmeresurser inkluderar en betydande del spillvärme från den växande biobränslebaserade produktionen av drivmedel.



Figur 94. Fjärrvärmeleveranser och tillförd energi för fjärrvärmeproduktion uppdelat i statistik och *Beslutad policy* och tillhörande känslighetsfall till och med år 2060, TWh.

Anm: I biobränslen inkluderas den biogena delen från avfallsförbränning.

Den tillförda energin för att producera fjärrvärme i *Beslutad policy* minskar till 45 TWh 2050, vilket kan ses i Figur 94. Eftersom det är mycket små skillnader mellan *Beslutad policy* och känslighetsfallen för slutlig användning av fjärrvärme visar den tillförda energin för fjärrvärmeproduktion därför också mycket små skillnader. I *Beslutad policy* och känslighetsfallen finns en mindre mängd koks- och masugns gas kvar under år 2030, vilket är direkt kopplat till omställningen av industrin (eftersom koks- och kolbaserad produktion i masugnar fasas ut). Det finns även skillnader i användningen av spillvärme och stora värmepumpar, men skillnaderna är som sagt små.

Hållbar energi för alla

Energimyndighetens uppdrag är att förena ekologisk hållbarhet, konkurrenskraft och försörjningstrygghet i energisystem, som är hållbara och kostnadseffektiva med en låg påverkan på hälsa, miljö och klimat.

Vi bidrar med fakta, kunskap och analyser om tillförsel och användning av energi i samhället, och arbetar för en trygg energiförsörjning.

Forskning om framtidens energisystem och teknik får stöd av oss. Vi stöttar också affärsutveckling som gör det möjligt att kommersialisera innovationer och ny teknik, och ser till att goda lösningar kan exporteras.

Vi ansvarar för Sveriges officiella statistik på energiområdet, och hanterar stödsystem så som elcertifikatsystemet och handeln med utsläppsrätter. Dessutom deltar vi i internationella klimatsamarbeten, och förmedlar fakta om effektivare energianvändning till hushåll, företag och myndigheter.

Energimyndigheten är också beredskapsmyndighet och sektorsansvarig myndighet inom energiområdet.



Energimyndigheten, Box 310, 631 04 Eskilstuna

Telefon 016-544 20 00

E-post registrator@energimyndigheten.se

energimyndigheten.se