

Klimatåtgärder inom transportsektorn sett i ett energisystemperspektiv – Utsläppsutrymme och åtgärdskostnader

Jonas Forsberg, PhD

Anna Krook-Riekkola, Biträdande professor

Institutionen för Teknikvetenskap och Matematik

2024-03-14



Förord

Detta arbete har genomförts av Jonas Forsberg och Anna Krook-Riekkola, Luleå tekniska universitet (LTU), under vintern 2023/24. Vi vill tacka för förtroendet att genomföra uppdraget, samt för ett mycket gott samarbete under arbetets gång. Särskilt tack till Lisa Eriksson och Lennart Thörn på Trafikanalys för kreativa diskussioner, nyttig input samt kommentarer på rapporten. Härmed överlämnar vi slutrapporten för uppdraget – med hopp om givande läsning.

Luleå, mars 2024

Innehållsförteckning

1	Inledning	1
1.1	Om uppdraget.....	1
1.2	Växthusgasbudgetar och transportsektorn	1
1.3	Frågeställningar.....	2
2	Genomförande	2
2.1	Modellbaserad scenarioanalys	2
2.2	TIMES-Sweden.....	3
3	Modellscenarier	5
3.1	Grundantaganden	5
3.2	Scenariovariationer	6
3.3	Sammanfattning av modellscenarier.....	7
4	Resultat och analys	10
4.1	CO ₂ -utsläpp.....	10
4.2	Utsläppsutrymme	14
4.3	Transportsektorns energianvändning	14
4.4	Fordonsparkens utveckling	16
4.5	Kostnad för att reducera CO ₂	17
5	Diskussion och slutsats	19
	Referenser	24
	Bilaga 1. Modellantaganden	27

1 Inledning

1.1 Om uppdraget

Trafikanalys önskar fördjupa kunskapen om vad vissa centrala delar inom Fit for 55 kan få för betydelse för den svenska transportsektorn, med fokus på de olika växthusgasbudgetarnas roll och tänkbara åtgärdskostnader. Mer specifikt önskar Trafikanalys fördjupad insikt och kunskap om utsläppsutrymmet inom ESR och tänkbara åtgärdskostnader för transportsektorn sett i ett systemperspektiv.

Den europeiska klimatlagen innebär att EU:s klimatmål om att minska EU:s utsläpp med minst 55 % fram till 2030 jämfört med 2005 är en rättslig skyldighet. Senast 2050 ska EU bli klimatneutralt. Lagstiftningen inom Fit for 55, det så kallade 55 %-paketet, har en avgörande betydelse även för den svenska transport- och klimatpolitiken.

När implementeringen av lagstiftning inom Fit for 55 genomförs i svensk lagstiftning eller när nationella styrmedel som rör transportsektorn tas fram omnämns ofta ovanstående samband och flexibiliteter i konsekvensanalyser, men utifrån avgränsade beräkningar av det aktuella alternativ som undersöks. Följdeffekter sett i ett systemperspektiv är betydligt svårare att få grepp om.

Syftet med detta uppdrag är att få mer kunskap om utsläppsutrymmet inom ESR och vilka förutsättningarna kan bli för transportsektorn. För att öka förståelsen av vilka övergripande och oväntade effekter som bakomliggande samband kan skapa vid olika alternativa vägval önskar Trafikanalys fördjupa analysen kring ett antal utfall, genom att följa dessa i olika steg. En viktig del av arbetet är att pedagogiskt sammanfatta resultatet så att det på ett informativt sätt beskriver och illustrerar de olika stegen och vilka effekter som beror av vad.

1.2 Växthusgasbudgetar och transportsektorn

Fit for 55 består av en uppsättning sammanlänkade förslag som tillsammans uppfyller ambitionerna i relation till EU:s klimatlag. Utsläppens storlek regleras av de tre växthusgasbudgetlagarna, medan den kompletterande klimatpolitiken driver fram konkreta åtgärder.

De tre växthusgasbudgetarna består av utsläppshandelsdirektivet, ansvarsfördelningsförordningen och förordningen om markanvändning, förändrad markanvändning och skogsbruk. Enligt ESO-rapporten ”Temperaturhöjning i klimatpolitiken – en ESO-rapport om EU:s nya lagstiftning i svensk kontext” (Nilsson, 2023) kan dessa ses som tre olika växthusgasbudgetar:

- Utsläppsbudget I: Nuvarande utsläppshandelssystem (ETS1)
- Utsläppsbudget II: Ansvarsfördelningsförordningen (ESR) och det nya utsläppshandelssystemet (ETS2)
- Inlagringsbudgeten: LULUCF-förordningen (markanvändning och skog)

Hur de hänger ihop har betydelse för det utrymme som rör transportsektorn. Inom respektive bubbla (ETS1, ESR/ETS2 och LULUCF) kan aktörerna handla utsläppsutrymme med varandra, om det finns tillgängligt och aktörerna är villiga att betala. Staten, företag och enskilda kan förvärva utsläppsrätter. Staten kan överföra utsläpps-

utrymme under ETS1 till ESR-sektorn, vilket skulle kunna begränsa behovet av utsläppsminskningar inom ESR. Trafiken är dock fortfarande avgörande för att minska de svenska ESR-utsläppen, eftersom den utgör den enskilt största delen av dessa utsläpp. Övriga ESR-utsläpp kommer från småskalig uppvärmning, jordbruk, arbetsmaskiner, icke energiintensiv tillverkningsindustri, avfall och produktanvändning.

En medlemsstat som överpresterar under ESR, det vill säga har lägre samlade utsläpp än lagstiftningen kräver, tillåts underpresterar under LULUCF-förordningen. Detsamma gäller åt andra hållet, men enligt Naturvårdsverkets underlag till klimatredivisning 2023 så bedöms Sveriges skärpta EU-åtagande inom LULUCF till 2030 vara svårt att nå (Naturvårdsverket, 2023a). Det hela är dock svåröverskådligt och regelverken anger olika referensnivåer vid olika tidpunkter framåt i tiden.

1.3 Frågeställningar

Trafikanalys har ställt upp ett antal frågeställningar (Q1–4) som man önskat en närmare analys av. Som första steg analyseras hur bakomliggande samband faller ut vid olika utgångspunkter (Q1–Q3) för att kunna se vad ESR-målet betyder för transportsektorn. Detta utgör sedan grunden för resonemang om åtgärdskostnader i efterföljande steg (Q4).

Q1: Hur påverkas balansen mellan växthusgasbudgetarna och därmed utsläppsutrymmet för transportsektorn av det ökade utsläppet av växthusgaser som omnämns i budgetpropositionen inför 2024?

Q2: Hur påverkas LULUCF av en ökad inhemsk produktion av biodrivmedel vid olika alternativ och vilka blir följd effekterna för ESR?

Q3. Vilka blir skillnaderna om biodrivmedel i olika andelar används till både flyg, sjöfart, vägtrafik och arbetsmaskiner – hur mycket räcker bioråvarorna till?

Q4: Vad betyder det nationella ESR-målet för respektive berörd sektor som ingår, rent ekonomiskt, var är åtgärds kostnaden lägst? I vilken utsträckning kan styrmedel utformas och hur?

2 Genomförande

2.1 Modellbaserad scenarioanalys

Studien bygger på en uppsättning modellbaserade scenarioanalyser. Analyserna utgår från körningar med den existerande TIMES-Sweden modellen som utvecklas och underhålls av forskargruppen på Luleå tekniska universitet (LTU). Modellen beskrivs i avsnitt 2.2. Inför och fortlöpande genom arbetet fördes en dialog mellan LTU och Trafikanalys kring hur och i vilken omfattning de olika frågeställningarna kan besvaras med hjälp av TIMES-Sweden respektive vad som måste hanteras utanför modellen eller inte kan besvaras inom denna studie, vilket återkopplas till i Avsnitt 5 ”Diskussion och slutsats”.

Scenarierna ska i detta projekt **inte** betraktas som prognoser. Ett scenario ska istället förstås som ett kostnadseffektivt sätt att möta framtida energirelaterade samhällsbehov givet de förutsättningar som getts till modellen. Genom att definiera en uppsättning

scenarier kan utfallet av olika antaganden studeras systematiskt, och via analys av resultaten från flera olika scenarier kan effekten av olika antaganden jämföras, mönster skönjas och slutsatser dras kring enskilda eller kombinationer av åtgärder.

Omfattningen av uppdraget har varit relativt begränsat i tid. Därav har bara mindre uppdateringar av modellen rymts inom ramen för uppdraget. För att kunna illustrera utsläpp från – och utsläppsutrymme för – ESR-sektorerna har representationen av arbetsmaskiner uppdaterats och jordbrukets övriga växthusgasutsläpp (från djurens fodermältning, gödsel och markanvändning) har lagts till i modellen. Dock saknar modellen åtgärder (och kostnader) för att reducera jordbrukets övriga utsläpp. Vi har inte haft möjlighet att på djupet analysera alla körda scenarier eller att studera hur sektorer som omfattas av ETS1 påverkar eller påverkas av utfallet i transportsektorn. Dock har resultat och slutsatser från tidigare analyser med TIMES-Sweden beaktats och vävts in där det bedömts relevant, t.ex. med avseende på synergier mellan sektorer i det svenska energisystemet.

2.2 *TIMES-Sweden*

TIMES-Sweden är en optimeringsmodell vars syfte är att identifiera hur Sveriges framtida energiintensiva behov kan mötas till lägsta kostnad utifrån givna resurser och samhällsmål. Modellen är byggd på modellramverket TIMES (The Integrated MARKAL-EFOM System) som utvecklats och uppdateras av IEA-ETSAP (www.iea-etsap.org/) där LTU är aktiva. TIMES är väldokumenterad; Loulou m.fl. (2016) ger en detaljerad introduktion till modellplattformen. I TIMES-Sweden representeras hela energisystemet inklusive tillförsel och användarsektorer, från utvinning av energiresurser och import av bränslen via omvandling och distribution till slutanvändning av energiintensiva varor och tjänster, se *Figur 1*.

TIMES-Sweden utvecklades som del av Krook-Riekkolas (2015) doktorandprojekt, först som en del av en Europeisk TIMES modell (i två EU projekt; NEEDS och RES2020) och därefter anpassat till svenska förhållanden speciellt vad gäller fjärrvärme. Modellen har även mjuklänkats med EMEC (konjunkturinstitutets allmänna jämviktsmodell). Därefter har modellen fått en ny detaljerad beskrivning av olika biomassaflöden som utgår från skogen, biomassan kan i modellen både användas för energiändamål, som insatsvaror för att producera material och för att skapa negativa utsläpp. Sandberg (2022) utvecklade i sitt doktorandprojekt en processdetaljerad beskrivning av alla energiintensiva industrisektorer, vilket gör att konkurrensen om både el och bioråvaror kan fångas av optimeringen. Forsberg (2024) har i sitt doktorandprojekt haft fokus på att förbättra hur transportsektorn är representerad. Detta innefattar bl.a. en uppdelning av persontransporter i fyra olika ”typregioner” (med olika typiska transportbeteenden och -förutsättningar): *Storstäder*, *Städer*, *Pendlings-* resp. *Glesbygdskommuner*. Godstransporter har delats upp utifrån olika varuslag: *flytande* resp. *torr bulk*, *containers* och *övrigt*.

Följande växthusgaser finns representerade i TIMES-Sweden:

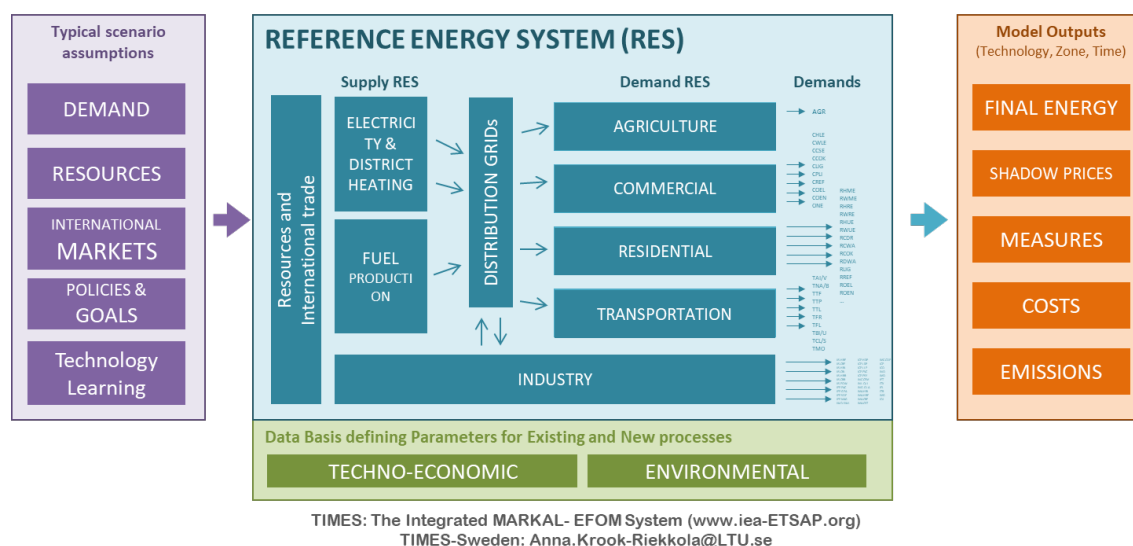
- Territoriella utsläpp av CO₂ (ekvivalenter) som omfattas av EU ETS (definierat per typ av utsläppskälla inklusive processutsläpp)
- Territoriella utsläpp av CO₂ (ekvivalenter) som ingår i ESR (definierat per typ av utsläppskälla, t.ex. bostäder, jordbruk och olika transportslag, dock innefattas inte utsläpp från avfall eller produktanvändning).

LULUCF och övriga växthusgaser finns i dagsläget inte representerade i TIMES-Sweden. I modellen beaktas existerande tekniker, fordonspark och infrastruktur, samt att det finns begränsningar vad gäller användandet av olika energiresurser och antaganden kring teknikutveckling. Dagens tekniker, fordonspark och infrastruktur antas fasas ut i takt med att de åldras. Modellen väljer sedan att investera i de tekniker, fordon och infrastruktur som från ett systemperspektiv ger minsta totalkostnad över hela den studerade tidsperioden. Nya tekniker beskrivs i en teknikdatabas med teknoekonomiska parametrar (verkningsgrad, tillgänglighet, emissionsfaktorer, investeringskostnad, drift- och underhållskostnader, m.m.). Vad gäller tekniker som inte finns idag så anges även vilket år de förväntas bli tillgängliga. Motsvarande antas vissa tekniker bli mer effektiva och/eller billigare över tid.

Modellens styrka är att studera omställningen av energisystemet. Ofta är fokus på tidsperioden från idag och 5, 10, 20, 30, 50 år framåt i tiden. Inom den tidsrymden kan mycket hända: preferenser och beteenden kan ändras, teknikutveckling vad gäller förnybart, energilagring, flexibilitet, etc. går framåt, helt nya tekniker kan tillkomma, och kostnadsbilden förändras. Genom att paketera olika uppsättningar av antaganden om framtiden i *scenarier* kan effekten av olika förutsättningar och osäkra/okända förhållanden studeras på ett systematiskt vis med hjälp av TIMES-Sweden. Modellsценарier kan köras utan specifika klimatmål (eller andra mål) för att t.ex. studera effekten av enskilda styrmedel, eller med bindande klimatmål för att istället studera vilken typ av åtgärder som kan tänkas krävas – och när i tid – för att nå t.ex. netto-noll 2045.

TIMES-Sweden har tidigare bland annat använts för att analysera effekterna på energisystemet från skärpta krav på byggnaders energiprestanda (Boverket, 2015) samt för att bistå med underlag till den parlamentariska Miljömålsberedningens arbete som ligger till grund för nuvarande svenska klimatmål (Krook-Riekkola, 2016).

TIMES-Sweden



Figur 1. Översiktlig illustration av TIMES-Sweden.

3 Modellsценарier

I detta avsnitt beskrivs centrala indata till modellen och de antaganden som gjorts, dels antaganden som är desamma i alla modellkörningar (avsnitt 3.1) och sådana som varierar mellan olika scenarier (avsnitt 3.2). En sammanfattande tabell över alla scenarier ges i avsnitt 3.3. Samtliga modellkörningar innefattar hela det svenska energisystemet, men det har inte gjorts några specifika scenariovariationer för övriga sektorer (utöver olika priser på utsläppsätter). Notera att de aviserade satsningarna på grönt stål i Norrbotten antas realiseras i alla scenarier vilket driver upp efterfrågan på el för produktion av vätgas.

3.1 Grundantaganden

Teknikdatabas. I modellkörningarna har befintliga data i TIMES-Sweden vad gäller nya fordonstekniker, energibärare, bränsle- och laddinfrastruktur använts utan ytterligare tillägg eller uppdateringar. Samma parameterantaganden för investeringskostnader, fordonens bränsleeffektivitet, kapacitet, etc. används i alla scenarier. De teknik- och drivmedelsval som inkluderas i modellkörningarna listas i *Tabell B.1–B.2* i Bilaga 1.

Energi priser. Importpriser på fossila bränslen som kol, olja och naturgas bestäms exogent och ges som indata till modellen. I föreliggande modellkörningar har prisprognoser från International Energy Agencys *Global Climate and Energy Model* använts. Kostnaderna baseras på ett s.k. ”Announced Pledges Scenario” (se *Tabell 2.2.*, sid. 19 i IEA, 2023), dvs. en prisutveckling under förutsättning att världens länder uppfyller sina klimatambitioner och -åtaganden, vilket antas snabbt minska efterfrågan på fossil energi och därmed sänks priserna på dessa varor. Antagna kostnader visas i *Figur B.3* i Bilaga 1.

Minskade utsläpp från nya lätta fordon. EU:s förordning om minskade CO₂-utsläpp för nya personbilar och nya lätta nyttofordon (förordning (EU) 2023/851) kräver successiva utsläppsminskningar från alla nya lätta fordon inom unionen fr.o.m. 2025 (EU, 2023a). Fr.o.m. 2035 ska enbart utsläppsfria nya fordon få säljas. TIMES-Sweden är i nuläget inte anpassad för att fånga samtliga detaljer i förordningen, däremot har kravet om 100% utsläppsfria nya fordon fr.o.m. 2035 inkluderats i modellkörningarna.

Minskade utsläpp från nya tunga fordon. EU har i tillägg till Förordning (EU) 2019/1242 föreslagit hårdare utsläppskrav för nya tunga fordon (bussar, lastbilar) (EU, 2023b). Kraven ska skärpas successivt för att nå 90% utsläppsminskning från nya tunga fordon fr.o.m. 2040. TIMES-Sweden är inte anpassad för att fånga samtliga detaljer i förordningen. I modellen antas inkrementella effektivitetsförbättringar ske för nya konventionella fordon vilket bidrar till relativa utsläppsminskningar. Därtill finns noll-emissions-fordon (el, bränsleceller) representerade i modellen. Stadsbussar och distributionslastbilar antas kunna elektrifieras fullt ut medan maximalt 75% av det långväga godstransportbehovet kan mötas med ellastbilar.

Refuel EU Aviation. Enligt EU:s Fit-for-55-paket ska andelen hållbart flygbränsle, med särskilt fokus på syntetiskt bränsle, ökas från 2% 2025 till 70% 2050 (Trafikanalys, 2023). Detta fångas i modellkörningarna genom att begränsa andelen fossilt flygbränsle i såväl inrikes som utrikes flyg i enlighet med de nivåer som anges av EU. Inblandningen av alternativt flygbränsle antas öka linjärt från 2025 till 2050. Exakt vilka alternativa (bio- eller syntetiska) drivmedel som blandas in bestäms av modellen.

FuelEU Maritime. EU:s Fit-for-55-paket ställer krav på minskande CO₂-intensitet från fartygsbränslen relativt år 2020. Minskningen 2023 skall vara 2% för att växa succesivt till 80% år 2050. Dessutom ska fartyg använda landström då de är förtöjda vid kaj. (Trafikanalys, 2023) TIMES-Sweden kan inte fånga kravet på landström, medan kravet på minskande CO₂-intensitet från bränslen fångas i modellkörningarna genom att begränsa andelen fossilt bränsle i såväl inrikes som utrikes sjöfart i enlighet med de nivåer som anges av EU. Inblandningen av alternativa drivmedel antas öka linjärt från 2023 till 2050. Exakt vilka alternativa (bio- eller syntetiska) drivmedel som blandas in bestäms av modellen.

Biomassatillgång. Sverige är rikt på skoglig biomassa som kan användas för olika ändamål. I modellkörningarna antas ett konservativt uttag av biomassa från skogen, baserat på *Skogliga konsekvensanalyser 2015* (Skogsstyrelsen & SLU, 2015). I stort motsvarar antagandena en situation där skogsbruket förändras i linje med EU:s ambitioner att bevara mer skog som kolsänka och att större andel rester från brukandet av skog (främst GROT) lämnas kvar.

Biodrivmedelsimport. År 2022 användes ca 25 TWh biodrivmedel inom transportsektorn i Sverige. Ca 80% utgjordes av biodiesel (FAME och HVO); enbart 4% av råvaran för biodiesel kom dock från Sverige (Energimyndigheten, 2023). I modellkörningarna antas att importen minskar och att vi fr.o.m. 2030 blir självförsörjande avseende biodrivmedel (dvs. ingen import tillåts i modellkörningarna från 2030).

3.2 Scenariovariationer

Transportefterfrågan. Framtida efterfrågan på person- och godstransporter är centrala indata till TIMES-Sweden. Basfallet i modellkörningarna (kallat BAS) baseras på Trafikverkets basprognoser (Trafikverket, 2020a, 2020b) som tas fram med hjälp av SAMPERS- och SAMGODS-modellerna. Därtill har ett fall med omfattande trafikslagsbyten använts (kallat TB = trafikslagsbyte). För persontransporter bygger detta på antagandet att 20% av det totala bilresandet flyttas över till andra trafikslag redan till 2030 (i linje med vad som föreslås av Höjer m.fl., 2023). För godstransporter antas en omfattande överflyttning från väg till tåg eller sjöfart, i linje med ambitionerna som anges i den nationella godstransportstrategin (Regeringen, 2018). För att också undersöka effekten av ett minskat totalt resande (via t.ex. ökat distansarbete) har ett fall med 10% minskat totalt resande använts (kallat MR = minskat resande). Samtliga antaganden sammanfattas i *Tabell B.4-B.8* i Bilaga 1.

Efterfrågan på internationella transporter inkluderar flyg och sjöfart. Representationen av dessa sektorer i modellen är förenklad (jämfört med inrikes transporter) och efterfrågan anges i termer av energi-input (PJ). Antagen efterfrågan visas i *Tabell B.9* i Bilaga 1. Denna varierar inte mellan olika scenarier.

Drivmedelsskatter. Drivmedelsskatterna omfattar energi- och CO₂-skatter. Regeringen aviserade i september (Finansdepartementet, 2023) pausad indexering samt ytterligare sänkning av energiskatten på bensin och diesel fr.o.m. 1 januari 2024. För att studera effekten av skattesänkningen på CO₂-utsläppen har två olika skattenivåer använts i modellkörningarna; den skattenivå som gällde under 2023 resp. den beslutade sänkningen fr.o.m. 2024. Antagna skattenivåer har hämtats från Skatteverket (2023), dessa sammanfattas i *Tabell B.10* i Bilaga 1.

Reduktionsplikten. Reduktionsplikten infördes 2018 med målet att successivt öka inblandningen av biodrivmedel i bensin och diesel för att därigenom minska de fossila utsläppen från allt drivmedel i Sverige. Biodrivmedel är generellt dyrare än fossila bränslen och styrmedlet antas därmed bidra till ökande priser vid pump. För att motverka en sådan utveckling har kvoterna pausats under 2023 och Regeringen har beslutat om en sänkning till 6% för åren 2024–2026 samt slopande av kvoterna 2027–2030 men med vidare analys av vilka krav som ska ställas på drivmedlen efter 2026 (Regeringen, 2023). För att studera utkomsten av detta används två olika varianter av Reduktionsplikten i modellkörningarna; dels de initialt beslutade kvoterna med successivt ökande inblandning av biodrivmedel, dels de nya kvoterna som gäller fr.o.m. januari 2024 (som dock antas fortsätta gälla även efter 2026). Antagna kvoter illustreras i *Figur B.2* i Bilaga 1.

EU ETS 1 och 2. EU:s befintliga system för handel med utsläppsrätter (ETS 1) modelleras inte explicit; i stället bestäms kostnaden per ton CO₂ exogent och ges som indata till modellen. Denna kostnad belastar fossila utsläpp från alla berörda sektorer (industri, el/värmeproduktion, flyg, etc.). Därtill har EU föreslagit införandet av ett nytt handelssystem (ETS 2) med start 2027 som ska omfatta de utsläpp som idag lyder under ansvarsfördelningsförordningen (ESR). Ett initialt ”tak-pris” om 45 Euro/ton CO₂ har föreslagits för att förhindra alltför stora kostnadsökningar för medborgarna (ER, 2023). ETS 2 har implementerats i TIMES-Sweden på samma vis som ETS 1, dvs. som en exogent bestämd kostnad på CO₂ som beläggs berörda sektorer utöver redan befintliga energi- och CO₂-skatter. Två olika fall med låga resp. höga priser för ETS1 och 2 används; antagandena visas i *Tabell B.1* i Bilaga 1.

Klimatmål. I TIMES-Sweden kan klimatmål implementeras som bindande restriktioner som modellen tvingas att nå. Sådana modellkörningar illustrerar den mest kostnadseffektiva vägen att nå det uppsatta målet, och resultaten indikerar hur utsläppen måste reduceras i olika sektorer och när i tid detta bör ske. Följande bindande klimatmål har använts:

- Transportmål (TRA): -70% CO₂ från inrikes transporter år 2030 relativt 2010.
- ESR-mål (ESR): Övergripande mål utifrån det svenska EU-åtagandet inom ESR att reducera CO₂ med 50% till 2030 relativt 2005, samt det svenska målet om minskning för ESR-sektorerna med 75% till 2040 relativt 1990.
- Netto-noll 2045 (NN): Det svenska klimatmålet om netto-noll territoriella CO₂-utsläpp 2045.

3.3 Sammanfattning av modellscenarier

I föreliggande arbete har vi valt att *inte* peka ut något specifikt bas-scenario. Scenariobaserade studier innefattar ofta någon form av bas-fall, noll-alternativ, eller dylikt, som används som referenspunkt. Då dessa scenarier ofta bygger på någon form av business-as-usual framskrivning av nuläget kan det dock leda läsaren att tro att detta scenario representerar det mest troliga utfallet. I föreliggande arbete har istället olika scenarier definierats och modellerats med syfte att så fritt som möjligt utforska effekten av olika styrmedel, beteendeförändringar, etc. Dock kan de olika scenarierna förstås ligga till grund för en diskussions kring vad som ses som en möjlig, trolig eller önskvärd utveckling. Samtliga körda scenarier listas i *Tabell 1* nedan.

Tabell 1. Sammanfattning av modellscenarier (tabellen fortsätter på nästkommande sida).

Scenario \ Antagande	Person-transport	Gods-transport	Skatt 2023	Skatt 2024	RP	RP_Paus	ETS2	ETS1	Klimatmål
BAS_23_RP_NOLL	BAS	BAS	X		X		NOLL	LÅG	-
BAS_23_RP_Paus_NOLL	BAS	BAS	X			X	NOLL	LÅG	-
BAS_24_RP_NOLL	BAS	BAS		X	X		NOLL	LÅG	-
BAS_24_RP_Paus_NOLL	BAS	BAS		X		X	NOLL	LÅG	-
TB_23_RP_NOLL	TB	TB	X		X		NOLL	LÅG	-
TB_23_RP_Paus_NOLL	TB	TB	X			X	NOLL	LÅG	-
TB_24_RP_NOLL	TB	TB		X	X		NOLL	LÅG	-
MR_24_RP_Paus_NOLL	TB	TB		X		X	NOLL	LÅG	-
MR_23_RP_NOLL	MR	TB	X		X		NOLL	LÅG	-
MR_23_RP_Paus_NOLL	MR	TB	X			X	NOLL	LÅG	-
MR_24_RP_NOLL	MR	TB		X	X		NOLL	LÅG	-
TB_24_RP_Paus_NOLL	MR	TB		X		X	NOLL	LÅG	-
BAS_23_RP_LÅG	BAS	BAS	X		X		LÅG	LÅG	-
BAS_23_RP_Paus_LÅG	BAS	BAS	X			X	LÅG	LÅG	-
BAS_24_RP_LÅG	BAS	BAS		X	X		LÅG	LÅG	-
BAS_24_RP_Paus_LÅG	BAS	BAS		X		X	LÅG	LÅG	-
TB_23_RP_LÅG	TB	TB	X		X		LÅG	LÅG	-
TB_23_RP_Paus_LÅG	TB	TB	X			X	LÅG	LÅG	-
TB_24_RP_LÅG	TB	TB		X	X		LÅG	LÅG	-
MR_24_RP_Paus_LÅG	TB	TB		X		X	LÅG	LÅG	-
MR_23_RP_LÅG	MR	TB	X		X		LÅG	LÅG	-

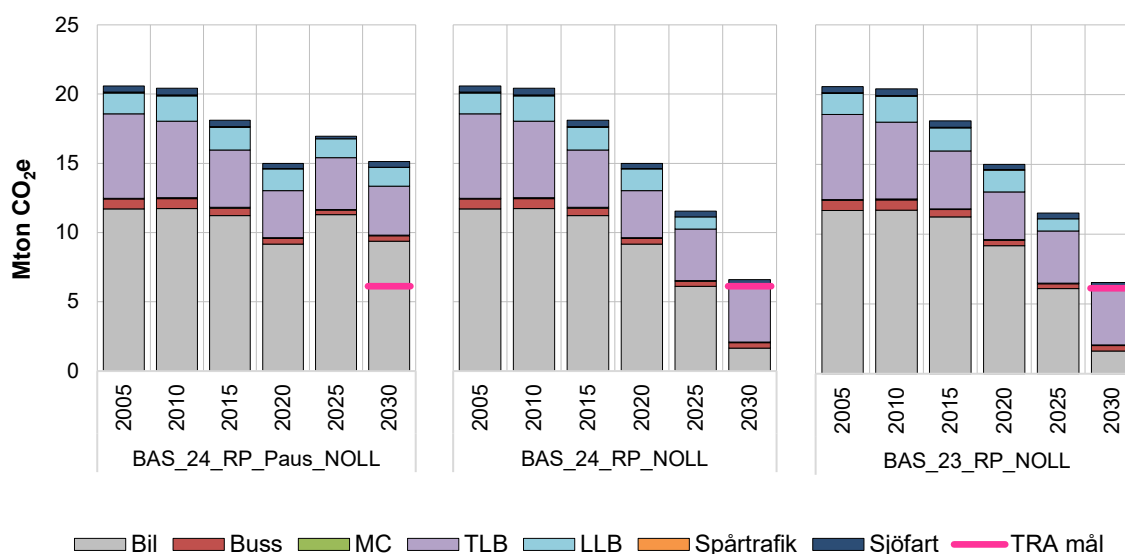
MR_23_RP_Paus_LÄG	MR	TB	X			X	LÄG	LÄG	-
MR_24_RP_LÄG	MR	TB		X	X		LÄG	LÄG	-
TB_24_RP_Paus_LÄG	MR	TB		X		X	LÄG	LÄG	-
BAS_23_RP_HÖG	BAS	BAS	X		X		HÖG	HÖG	-
BAS_23_RP_Paus_HÖG	BAS	BAS	X			X	HÖG	HÖG	-
BAS_24_RP_HÖG	BAS	BAS		X	X		HÖG	HÖG	-
BAS_24_RP_Paus_HÖG	BAS	BAS		X		X	HÖG	HÖG	-
TB_23_RP_HÖG	TB	TB	X		X		HÖG	HÖG	-
TB_23_RP_Paus_HÖG	TB	TB	X			X	HÖG	HÖG	-
TB_24_RP_HÖG	TB	TB		X	X		HÖG	HÖG	-
MR_24_RP_Paus_HÖG	TB	TB		X		X	HÖG	HÖG	-
MR_23_RP_HÖG	MR	TB	X		X		HÖG	HÖG	-
MR_23_RP_Paus_HÖG	MR	TB	X			X	HÖG	HÖG	-
MR_24_RP_HÖG	MR	TB		X	X		HÖG	HÖG	-
TB_24_RP_Paus_HÖG	MR	TB		X		X	HÖG	HÖG	-
BAS_TRA	BAS	BAS	-	X	-	-	-	-	TRA
TB_TRA	TB	TB	-	X	-	-	-	-	TRA
MR_TRA	MR	TB	-	X	-	-	-	-	TRA
BAS_ESR	BAS	BAS	-	X	-	-	-	-	ESR
TB_ESR	TB	TB	-	X	-	-	-	-	ESR
MR_ESR	MR	TB	-	X	-	-	-	-	ESR
BAS_NN	BAS	BAS	-	X	-	-	-	-	NN
TB_NN	TB	TB	-	X	-	-	-	-	NN
MR_NN	MR	TB	-	X	-	-	-	-	NN

4 Resultat och analys

I detta avsnitt presenteras och analyseras resultat med avseende på utsläpp, transportsektorns energianvändning och fordonsparkens utveckling. Även om resultaten från samtliga scenarier inte redovisas, så ger resultaten som presenteras en representativ bild av utfallet. Därtill förs en diskussion kring utsläppsutrymme samt vad det kan kosta att reducera CO₂ från transporter och andra ESR-sektorer.

4.1 CO₂-utsläpp

Effekt av sänkt energiskatt och sänkt reduktionsplikt



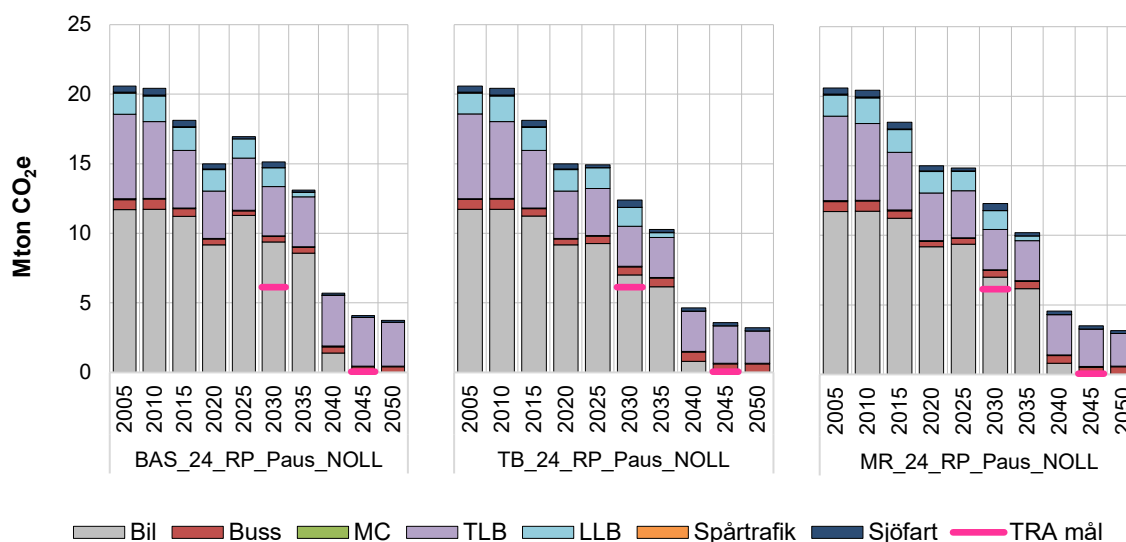
Figur 2. CO₂-utsläpp från inrikes transporter (Mton) med olika nivåer på energiskatt och olika reduktionskvoter. För specificering av resp. scenario hänvisas till Tabell 1. TLB = Tunga lastbilar, LLB = Lätta lastbilar.

Figur 2 visar den kortsiktiga effekten på CO₂-utsläppen från inrikes transporter till följd av sänkt energiskatt på bränslen och de sänkta kvoterna i reduktionsplikten. Utsläppen sjönk under perioden 2010–2020 tack vare ökad användning av biodrivmedel samt minskat totalt resande 2020 p.g.a. restriktioner under Covid-19 pandemin. Med sänkta skatter och sänkt reduktionsplikt (*BAS_24_RP_Paus_NOLL*) väntas utsläppen öka igen, vilket även Regeringen själv har aviserat. Notera också att TIMES-Sweden inte tar hänsyn till eventuella ”rekyleffekter” på resandet, dvs. att sänkta skatter och reduktionskvoter minskar bränslekostnaden vilket i sin tur leder till ett ökat resande och därmed ytterligare ökade utsläpp.

Med de ursprungliga progressiva kvoterna i reduktionsplikten hade utsläppen istället fortsatt att minska tack vare ökande inblandning av biodrivmedel i bensin och diesel. Effekten på utsläppen förstärks ytterligare av att kvoterna driver upp drivmedelspriserna, vilket ökar driftskostnaden för konventionella fordon, vilket i sin tur påskyndar elektrifieringen av bilparken och sänker utsläppen ytterligare. Denna effekt har även observerats i tidigare modellkörningar och analyser, där bensinpriset ökade nära 20% och dieselpriiset nära 40% (Forsberg m.fl., 2023) till följd av samma reduktionskvoter som använts i föreliggande analys.

Effekten på utsläppen av den sänkta energiskatten är däremot försumbar (<1% 2025–2030) enligt modellresultaten (jämför *BAS_24_RP_NOLL* och *BAS_23_RP_NOLL*).

Effekt av ändrat resande och överflyttning av gods



Figur 3. CO₂-utsläpp från inrikes transporter (Mton) med ändrat resande och överflyttning av gods. För specificering av resp. scenario hänvisas till Tabell 1. TLB = Tunga lastbilar, LLB = Lätta lastbilar.

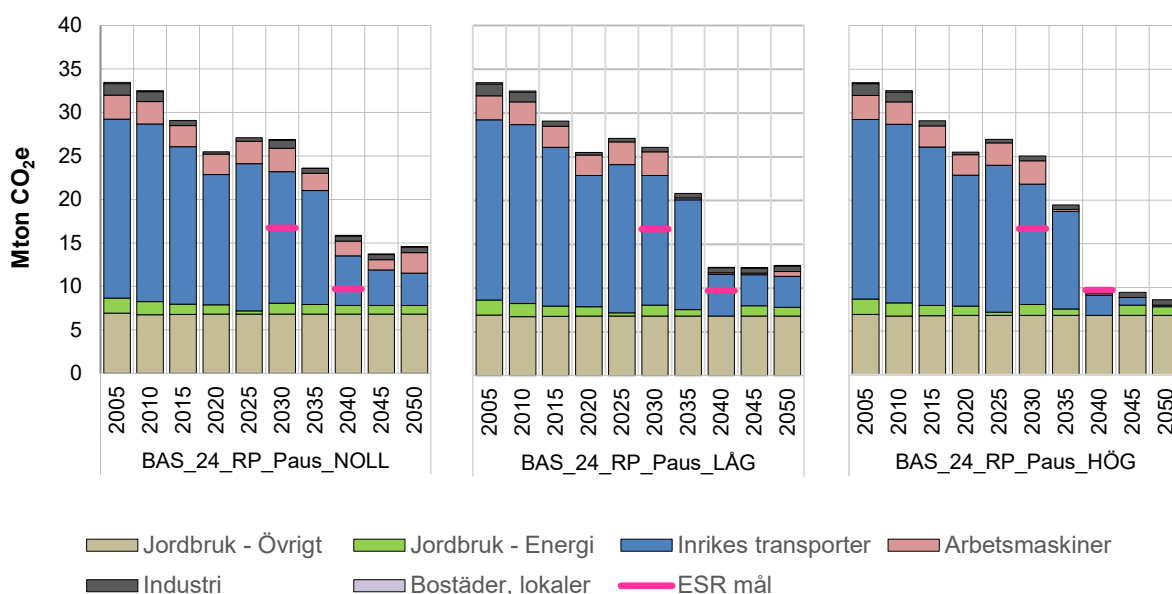
Överflyttning av personresande från bil till kollektivtrafik och av gods från lastbil till järnväg och inrikes sjöfart (*TB_24_RP_Paus_NOLL*) bromsar utsläppsökningen 2025 och leder till ytterligare totala utsläppsminskningar från 2030 och framåt (jämfört med *BAS*-prognosen för transportefterfrågan). Den största utsläppsminskningen sker från biltrafiken, men viss minskning syns även från tunga lastbilar då gods flyttas över till andra trafikslag. Att utsläppen kan minska så pass mycket hänger till stor del ihop med att andelen fossila bränslen ökar då reduktionsplikten sänks; under dessa förutsättningar leder minskat drivmedelsbehov till direkta utsläppsminskningar – i ett system med hög andel förnybart blir denna effekt förstås mindre.

Notera också att utsläppen ökar från bussar till följd av ökat kollektivt resande – detta visar vikten av att beakta vilka trafikslag som kan ersätta biltrafik i olika regioner och vilken energikälla dessa trafikslag använder.

Minskat resande (*MR_24_RP_Paus_NOLL*) har marginell ytterligare effekt på utsläppen; detta scenario minskar utsläppen 1–2 % i resp. tidsperiod jämfört med trafikslagsbyten (*TB_24_RP_Paus_NOLL*).

Även om ändrade transportvanor reducerar utsläppen och kan ge viktiga bidrag till uppfyllelsen av klimatmålen, är det inte ensamt tillräckligt för att nå 2030-målet. Resultaten illustrerar att ytterligare åtgärder för att också förändra fordonspark och drivmedelsmix är nödvändiga.

Effekt av priset på utsläppsrätter inom ETS2



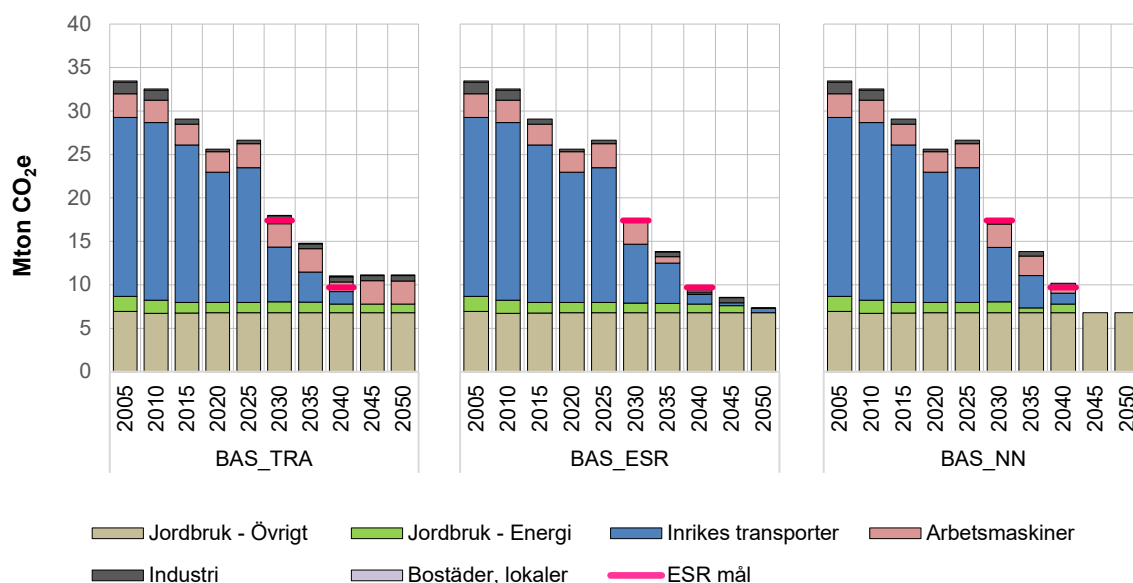
Figur 4. CO₂-utsläpp från ESR-sektorerna (Mton) med olika priser på utsläppsrätter inom ETS2. NOLL=ingen kostnad, LÅG=45 €/ton, HÖG=ökande från 45 €/ton till 265 €/ton år 2050.

Figur 4 visar de totala utsläppen av CO₂e från resp. sektor inom ESR. I dessa scenarier används de nyligen beslutade energiskatterna och reduktionskvoterna, men med tillägg av ETS2 (med olika pris-nivåer). Utan pris på ETS2-utsläppen förblir utsläppen i stort sett desamma, förutom i transportsektorn. Den skarpa nedgången efter 2035 kommer av att lätta vägfordon (personbilar, lätta lastbilar) elektrifieras snabbt till följd av EU:s regelverk (förordning (EU) 2023/851) som anger att enbart utsläppsfria nya fordon får säljas från 2035. Effekten av detta är markant (det kan mycket väl vara så att modellen överskattar takten i detta skifte och därmed också i utsläppsminskningen). Betänk dock att resultaten presenteras i 5-årsintervaller – utsläppsminskningen 2035–2040 i Figur 4 motsvarar en årlig minskning om knappt 1,5 miljoner ton.

I scenariet med lågt ETS2-pris (*BAS_24_RP_Paus_LÅG*) reduceras utsläppen även från arbetsmaskiner (notera att kostnaden för att ställa om arbetsmaskiner är ytterst osäker – det har inte funnits utrymme för mer detaljerad analys av detta inom uppdraget). Däremot har ett lågt ETS2-pris om 45 €/ton ingen märkbar effekt på utsläppen från industrin, tunga vägfordon eller inrikes sjöfart. Då ETS2-priset höjs successivt till 2050 (*BAS_24_RP_Paus_HÖG*) skiftar även tunga vägfordon och inrikes sjöfart från fossilt till alternativa drivmedel vilket sänker utsläppen, medan fossila utsläpp återstår inom industrin och jordbruket. Övriga utsläpp från jordbruket (från djurens fodermältning, gödsel, markanvändning) förblir desamma över alla framtida tidsperioder då TIMES-Sweden helt saknar åtgärder för att reducera dessa.

Inget av scenarierna som redovisas i Figur 4 kommer nära ESR-målet för 2030 (att minska utsläppen 50% relativt 2005). Att nå detta mål skulle kräva betydligt skarpare och snabbare åtgärder. Däremot indikerar resultaten av *BAS_24_RP_Paus_HÖG*-scenariot att ett ETS2-pris kring 150 €/ton kan ta oss nära det svenska 2040-målet för ESR-sektorerna.

Bindande klimatmål



Figur 5. CO₂-utsläpp från ESR-sektorn under olika bindande klimatmål. TRA = klimatmål för transportsektorn, ESR = gemensamt klimatmål för ESR, NN = netto-noll-målet för hela energisystemet 2045. Övriga utsläpp från jordbruket inkluderas i ESR-målet, men inte i TRA- eller NN-målen.

Figur 5 visar att alla olika klimatmål driver snabba utsläppsminskningar inom transportsektorn. I samtliga scenarier sker de mest markanta förändringarna i personbilsparken där elfordon snabbt ersätter konventionella fordon (vissa bensinbilar skrotas ut i förtid). Tunga fordon övergår också delvis till eldrift (stadsbussar, distributionslastbilar) men flottan domineras alltjämt av konventionella fordon som drivs med ökande andel bio- eller syntetiska bränslen vilket minskar de fossila utsläppen.

Då det transportsektor-specifika målet uppfylls (*BAS_TRA*) är också ESR-målet nära att nås, trots att utsläpp från övriga ESR-sektorer kvarstår. Då ESR-målet appliceras i modellen (*BAS_ESR*) reduceras utsläppen från transporter, industri, jordbruk (energi-relaterade utsläpp) och arbetsmaskiner – dock kvarstår vissa utsläpp från inrikes sjöfart 2045–2050. Detta indikerar att utsläppen från inrikes sjöfart är bland de dyraste av alla ESR-utsläpp att reducera (övriga utsläpp från jordbruket ej inräknade).

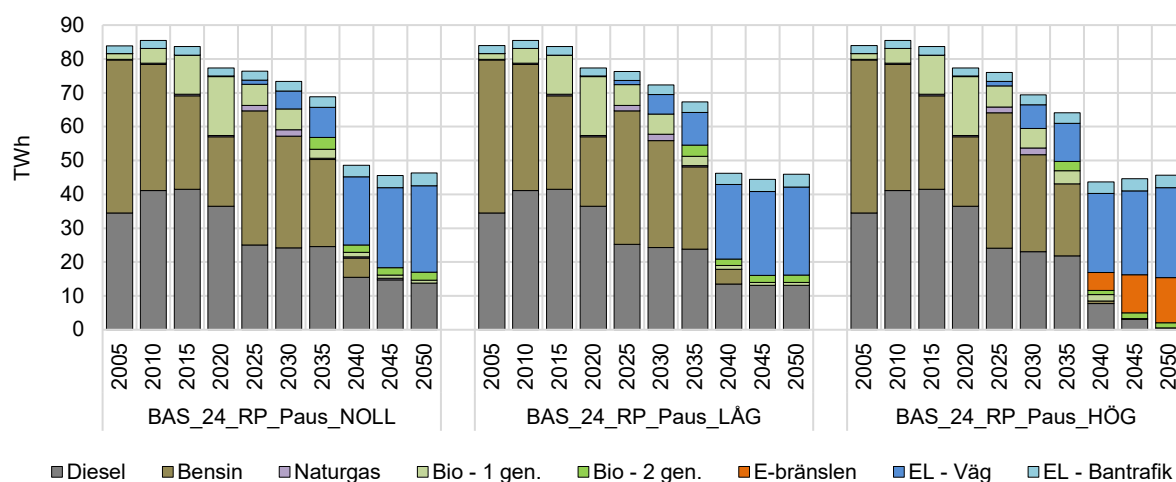
Då det nationella netto-noll-målet appliceras (*BAS_NN*) elimineras alla energirelaterade fossila utsläpp inom ESR-sektorerna, återstår gör enbart övriga utsläpp från jordbruket. De sista fossila utsläppen som reduceras kommer från tunga lastbilar, sjöfart, industri och jordbruk.

4.2 Utsläppsutrymme

Transportsektorn är den dominerande källan till utsläpp inom ESR; denna sektor står för närvarande för ca 60% av ESR-utsläppen i modellresultaten (se *Figur 4*). Observera att utsläpp från avfall och produktanvändning inte inkluderas i modellen, samt att växthusgasutsläpp från industrier som ej ingår i ETS underskattas något; då dessa inkluderas står transportsektorn för ca 50% av ESR-utsläppen (Naturvårdsverket, 2024). Därtill står jordbrukets övriga (icke energi-relaterade) utsläpp, dvs. från djurens fodermältning, gödsel samt markanvändning, för ca 20–25% av ESR-utsläppen. De sistnämnda utsläppen har lagts till i TIMES-Sweden för att illustrera hur de påverkar utsläppsutrymmet inom ESR, men modellen innehåller inte några åtgärder för att reducera dessa. Att avsevärt minska dessa utsläpp skulle kräva minskad inhemsk djurhållning och minskad inhemsk livsmedelsproduktion, vilket inte är förenligt med Sveriges livsmedelsstrategi. Kompletterande åtgärder kommer därför att krävas för att kompensera för jordbrukets övriga utsläpp (Naturvårdsverket, 2023b). Detta ställer i praktiken än större krav på snabbare och större utsläppsminskningar från övriga ESR-sektorer. Noterbart är samtidigt att med de ursprungliga nivåerna i reduktionsplikten skulle utsläppen från transportsektorn kunna minska i sådan utsträckning att ESR-målet 2030 vore inom räckhåll (jämför med *Figur 2*).

Inom ramen för detta uppdrag har det inte funnits möjlighet att analysera vilken effekt en eventuell överflyttning av utsläppsutrymme från ETS1 till ESR skulle kunna få för inrikes transporter och övriga ESR-sektorer.

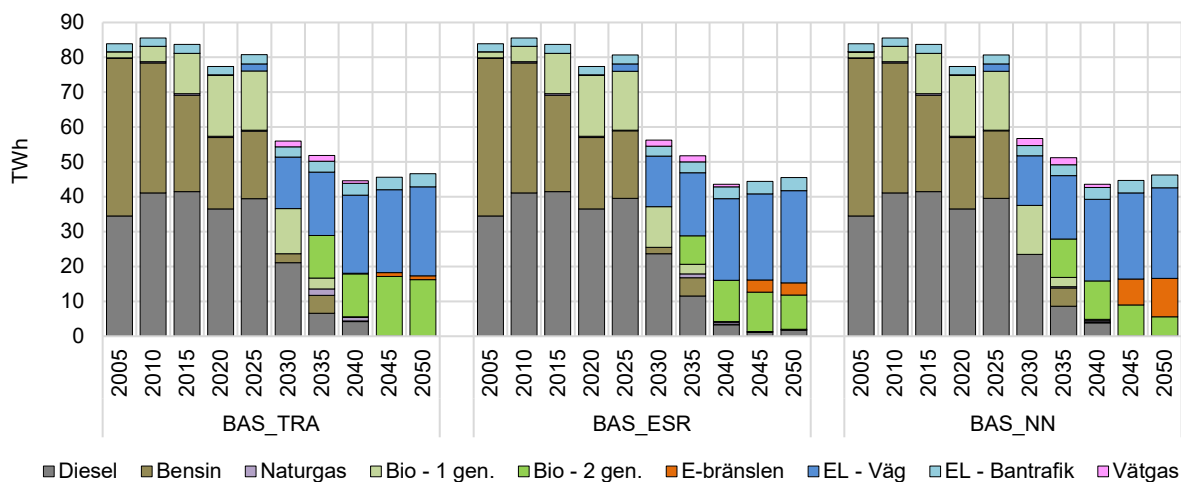
4.3 Transportsektorns energianvändning



Figur 6. Drivmedelsanvändning (TWh) för inrikes transporter (exkl. flyg) under olika nivåer av ETS2-priser.

I *Figur 6* syns effekten av den sänkta reduktionsplikten då mängden biodrivmedel sjunker efter 2020 (vilket ligger bakom den kortsiktiga utsläppsökningen i *Figur 2*). Vidare visar *Figur 6* en markant minskning i den totala energianvändningen för inrikes transporter till 2050, främst tack vare elektrifiering av lätta vägfordon. Detta medför samtidigt att ökningen inom internationellt flyg och sjöfart leder till att dessa går om inrikes transporter i total energianvändning (detsamma har även observerats i tidigare körningar med TIMES-Sweden, t.ex. i Forsberg & Krook-Riekkola, 2024).

I den tunga fordonsflottan (i synnerhet tunga lastbilar för långväga gods) domineras alltjämt av konventionella fordon med förbränningsmotor. Vid inget eller lågt ETS2-pris dominerar fossil diesel, men då ETS2-priset går över 145 €/ton (2040) ökas kostnaden för fossila utsläpp så pass mycket att ett skifte till alternativa drivmedel inleds. I detta fall ”tvingas” modellen ta till e-bränslen då mängden biomassa (för att producera bl.a. biodrivmedel) inte räcker till alla behov.



Figur 7. Drivmedelsanvändning (TWh) för inrikes transporter (exkl. flyg) med olika klimatmål.

Figur 7 illustrerar att en drastisk förändring av drivmedelsmixen måste till om klimatmålen ska nås. Genom en snabb övergång till el och biodrivmedel (1:a och 2:a generationens biodiesel) kan klimatmålen för transportsektorn nås (BAS_TRA). Detta kräver bioraffinaderier som via förgasning av svartlut (en restprodukt i massabruk) med efterföljande Fischer-Tropsch-syntetisering kan producera en mix av biodiesel, bio-jetbränsle och bionafte (till kemiindustrin). Denna produktionsväg erbjuder en resurseffektiv och flexibel användning av restprodukter från skogen (likt resultat har observerats även i Forsberg & Krook-Riekkola, 2024).

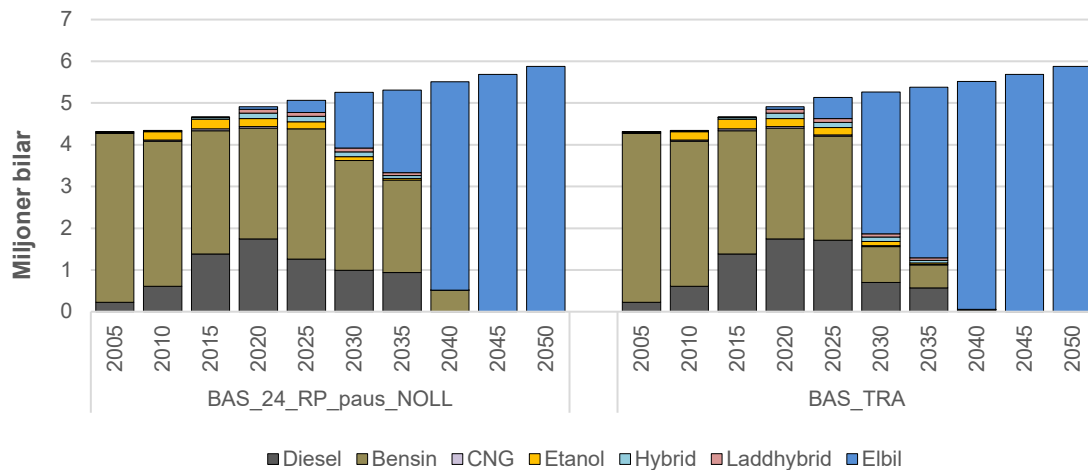
Då bindande klimatmål appliceras på hela energisystemet (BAS_NN) minskar mängden biodrivmedel som är tillgängliga för inrikes transporter; mer biomassa skiftas till produktion av t.ex. bio-jetbränsle till flyget och biometanol för internationell sjöfart. Biodrivmedel i tunga lastbilar och inrikes sjöfart ersätts av syntetiska e-bränslen, vilket kräver storskalig produktion av vätgas via elektrolys samt infångad biogen CO₂ – dvs. dyra och ännu ej mogna tekniker – vilket i sin tur driver upp systemkostnaden.

De antagna trafikslagsbytena för passagerare och gods (TB transportprognos) minskar den totala energianvändningen inom inrikes transporter med upp till 15% (i resp. tidsperiod). Minskat totalt resande (MR transportprognos) minskar sektorns energianvändning ytterligare med upp till 5%. Överflyttning av gods från väg till tåg och sjöfart minskar fr.a. användningen av diesel. Minskat bilresande leder initialt till minskad användning av bensin och diesel, men allteftersom bilparken elektrifieras sker besparingen främst på el för personbilar. En del av denna besparing motverkas också av ökad elanvändning för bantrafik till följd av antaget ökat resande med tåg, t-bana och spårväg.

Internationell sjöfart och flyg är för närvarande i princip helt beroende av fossil energi. Då dessa sektorer införlivas i ETS1 förändras dock bränslemixen. Ett antaget lågt ETS1-pris (<60 €/ton) driver främst en övergång till naturgas (LNG) i sjöfart – dvs. ett fossilt bränsle men med lägre CO₂-utsläpp än olja. Allteftersom ETS1-priset ökar (i HÖG prognos) skiftas LNG till biometan och då priset överstiger 145 €/ton (från 2040) introduceras även biometanol i sjöfart. Inom flyget börjar ett skifte till bio-baserat jetbränsle från 2030 vid ETS1-pris på 115 €/ton.

4.4 Fordonsparkens utveckling

Vägfordonsparken i TIMES-Sweden är kalibrerad mot officiell fordonsstatistik för åren 2000, 2005, 2010, 2015 och 2020. Befintliga fordon antas fasa ut successivt och ersättas av nya. Antagen utfasning tar hänsyn till den genomsnittliga åldern och livslängden för fordon inom olika segment. Notera att det är möjligt för modellen att ”ställa av” fordon i förtid och ersätta dessa med nya fordon om detta är nödvändigt för att nå t.ex. ett bindande klimatmål 2030.



Figur 8. Bilparkens utveckling i scenarier med resp. utan bindande klimatmål.

De mest dramatiska förändringarna i fordonsparken sker i bilflottan (illustrerat i *Figur 8*). I alla scenarier är små elbilar kostnadseffektiva redan från 2025 och börjar introduceras omgående i modellkörningarna. Medelstora elbilar börjar introduceras från 2030, medan stora elbilar blir kostnadseffektiva tidigast 2035 (då EU:s förordning om utsläppsfria nya fordon också träder i kraft). Med bindande klimatmål för transportsektorn (*BAS_TRA*) syns en markant nedgång i antal bensinbilar från 2025 till 2030 – dessa ställs alltså av i förtid och ersätts av elbilar för att nå 2030-målet. I modellen sker utbytet utan att bilen antas ha något restvärde. Vad gäller resultat så är det viktigt att vara medveten om att modellen inte tar i beaktning att det kan finnas ett värde att ha kvar en fossilbil för enstaka resor, t.ex. för att dra släp/husvagn, vilket kan möjliggöra inköp av en mindre elbil som ersätter majoriteten av vardagsresorna. Dvs. även om modellen visar att det är kostnadseffektivt att fasa ut bensinbilar för att nå 2030 målet, så motiverar det inte en skrotningspremie för att nå klimatmålen.

Elektrifiering av lätta lastbilar och stadsbussar börjar 2025, och följs av distributionslastbilar från 2030. Med bindande klimatmål övergår även flottan av bussar för regiontrafik successivt till eldrift i senare tidsperioder (från 2035/40), medan flottan av tunga lastbilar (för långväga godstransporter) fortsätter att domineras av konventionella fordon i alla scenarier.

4.5 Kostnad för att reducera CO₂

För att förstå de resulterande kostnaderna ges först en kort introduktion till TIMES-Sweden ur ett ekonomiskt perspektiv. Målfunktionen är satt att minimera den totala systemkostnaden över hela modellperioden. Rent matematiskt minimeras den totala systemkostnaden för att nå given efterfrågan på energirelaterade varor och tjänster under antagna begränsningar, vilket innebär att modellen maximerar välfärdsöverskottet (eller närmare bestämt minimerar välfärdsförlusten). Samtliga kostnads-komponenter diskonteras till det givna basåret. Modellen beaktar nuvärdet av alla årliga så kallade systemkostnader, för varje inkluderad region (i TIMES-Sweden finns just nu endast en region), enligt ekvation 1. Modellen beaktar kostnader för alla år, även om bara årliga resultat redovisas för utvalda år. Val av år kan varieras mellan olika körningar, i denna analys har emellertid dessa varit de samma i alla körningar. Energisystemet, vars kostnader beaktas är från energiresurser, via alla energiomvandlingssteg till slutlig användning av varor och tjänster. Modellen omfattar även industriprocesser och materialflöden.

$$NPV = \sum_{r=1}^R \sum_{y \in \text{YEAR}} (1 + d_{r,y})^{\text{REFYR} - y} \times \text{ANNCOST}(r, y) \quad \text{Ekvation (1)}$$

I ekvationen ovan är **NPV** nuvärdet av de totala systemkostnaderna för alla regioner **R** över hela tidsperioden **YEAR**. **R** är ett set av regioner (r till R) som inkluderats i studieområdet. **d_{r,y}** är diskonteringsräntan i region (r) och år (y) och kan specificeras per process (tekniker, anläggningar, fordon och liknande), per sektor eller som samma för alla kostnader. I denna studie har en övergripande s.k. samhällsekonomisk diskonteringsränta om 3,5% använts, i linje med rekommendationen för samhällsekonomiska analyser som ges i ASEK (Trafikverket, 2023, s. 28). **YEARS** är antalet år som beaktas och **REFYR** är basåret. **ANNCOST** (r,y) är den totala årliga systemkostnaden i region (r) och år (y). Exempel på poster som inkluderas i systemkostnaden är:

- Kapitalkostnader för investerings- och/eller avvecklingsprocesser.
- Fasta årliga drifts- och underhållskostnader, samt andra årliga kostnader som uppkommer vid avvecklandet av en given teknik.
- Rörliga drifts- och underhållskostnader (inkluderar ej bränslekostnader).
- Importkostnader och exportintäkter.
- Kostnader för inhemsk resursutvinning.
- Skatter och subventioner i samband med energi- och materialanvändning, utsläpp, process-aktiviteter och/eller investeringar (kan vara kopplat både till flöden och till kapacitet/antal).
- Restvärdet (som intäkt) av processer som har livslängd kvar i slutet av den modellerade tidsperioden.

Alla kostnader ges icke-diskonterade (engelska ordet *undiscounted*) till modellen, detsamma gäller de redovisade kostnaderna från modellen (om ej annat redovisas). Modellen diskonterar vid optimeringen. Motivet till att diskontera kostnaderna är att ta hänsyn till att pengar värderas olika beroende på om de måste spenderas/fås idag eller om 10 år, t.ex. värdesätts att få 100€ idag högre än att få 100€ om 10 år. Diskonteringen innebär därmed att kostnader längre bort i tid ges lägre vikt jämfört med en kostnad idag när den totala systemkostnaden minimeras. Att diskontera kan påverka

utloppsbanan (hur utsläpp minskar över tid) i de fall som klimatmålet definieras som en CO₂ budget (dvs mål om maximal mängd utsläpp, under en given period), konsekvensen blir då ofta att utsläppen skjuts framåt i tid. Ju högre diskonteringsränta, desto högre effekt. Motsvarande om modellen optimerar mellan att minska utsläppen (idag) eller ta kostnaderna för klimatanpassning (längre bort i tid), så måste kostnaden för att minska utsläppen idag vara väldigt mycket lägre än kostnaden för klimatanpassning (längre bort i tid) för att det ska ses som kostnadseffektivt att reducera utsläppen idag. Vi gör emellertid inget av detta i föreliggande scenarioanalys, där vi istället har definierat årliga utsläppsmål. En annan konsekvens av att diskontera är skillnaden mellan åtgärdsalternativ med olika kostnadsstruktur, åtgärder med hög investeringskostnad och låg rörlig/årlig kostnad gynnas av en låg diskonteringsränta, medan åtgärder med låg investeringskostnad och hög rörlig/årlig kostnad gynnas av en hög diskonteringsränta.

Scenarier med bindande klimatmål genererar en *marginalkostnad* för att nå ett uppsatt mål, t.ex. att reducera CO₂ från olika sektorer i olika tidsperioder. Väldigt höga marginalkostnader innebär inte nödvändigtvis att det i realiteten är höga kostnader; höga marginalkostnader kan även innebära att alla åtgärder för att reducera utsläpp inte har beaktats i modellen. Detta har varit en snabb studie, vilket innebär att vi inte har kunnat analyserat alla detaljer kring vad som ligger bakom eventuella höga kostnader.

I denna studie driver scenarier med bindande mål – som tvingar modellen att nå väldigt snabba utsläppsminskningar och/eller netto-noll – upp marginalkostnaden kraftigt. Kostnaden rör sig generellt i intervallet 150–1500 €/ton reducerad CO₂ (men är även högre vissa år i några av scenarierna). Den högre delen av intervallet gäller främst netto-noll-målet, som kräver att modellen tar till en rad olika väldigt dyra tekniker, t.ex. negativa utsläpp i form av infångning och lagring av CO₂ från luften (DACCS)-samt infångning av biogent CO₂ för användning i produktionen av e-bränslen. Kostnaden för att nå 2030-målet för transporter ligger strax över 1000 €/ton; denna drivs upp kraftigt då väldigt stor del av befintliga bensinbilar ställs av i förtid (s.k. stranded assets) och ersätts av elbilar med tillkommande laddinfrastruktur.

Scenariot med bindande klimatmål för ESR-sektorn (se *BAS_ESR* i *Figur 5*) indikerar att kostnaden att reducera utsläpp från lätta vägfordon är relativt sett lägre än kostnaden att reducera utsläpp från arbetsmaskiner och industri. Däremot är utsläpp från inrikes sjöfart de sista fossila energirelaterade utsläpp som återstår i detta scenario, vilket indikerar att dessa är dyrast att reducera bland alla ESR-utsläpp.

Modellscenarier med olika ETS-priser (men utan klimatmål) ger en ytterligare illustration av nivån på kostnaden för att påbörja omställningen från fossilt till förnybart inom olika sektorer. Med ett ETS2-pris om 45 €/ton sker inga stora förändringar (jämfört med att inte ha pris på utsläpp inom ETS2). Då priset överstiger 130 €/ton börjar tunga lastbilar och inrikes sjöfart att ställa om från fossilt. Resultaten från scenarier med högt ETS2-pris (t.ex. *BAS_24_RP_Paus_HÖG* i *Figur 4*) indikerar att ett pris kring 150 €/ton driver ned utsläppen tillräckligt för att komma nära det svenska ESR-målet 2040. Resultaten visar vidare att ETS1-priset måste stiga till en bit över 100 €/ton för att det ska få någon effekt på flyg eller internationell sjöfart. Ett ETS1-pris kring 200 €/ton är nödvändigt för att helt ställa om internationell sjöfart från fossilt till förnybart eller syntetiska bränslen.

5 Diskussion och slutsats

I detta avsnitt återknyts till de inledande frågeställningarna. En kort kommentar ges kring hur och i vilken utsträckning respektive fråga har kunnat besvaras, varpå modellresultaten diskuteras och kortfattade slutsatser presenteras. I slutet av avsnitt 5 finns också en kort slutdiskussion kring sådant som inte rymts inom någon av de specifika frågeställningarna.

Q1: Hur påverkas balansen mellan växthusgasbudgetarna och därmed utsläppstrycket för transportsektorn av det ökade utsläppet av växthusgaser som omnämns i budgetpropositionen inför 2024?

Denna fråga besvaras genom modellbaserad scenarioanalys, dvs. genom att analysera och jämföra utkomsten från olika scenarier som utforskar effekten av tidigare och nuvarande styrmedel (skatter, reduktionsplikt).

Modellresultaten visar att den nyligen beslutade politiken (sänkta skatter och reduktionskvoter) kommer att öka utsläppen. Skattesänkningen har marginell effekt¹, medan de sänkta reduktionskvoterna leder till markant ökning av CO₂-utsläppen genom att andelen fossila drivmedel åter kommer att öka. Detta ökar kraven på utsläppsminskningar från andra ESR-sektorer och/eller inom andra utsläppsbudgetar för att Sverige ska nå de övergripande ambitionerna i EU:s klimatpolitik. Transportsektorn står idag för ca 60% av de totala svenska ESR-utsläppen (givet de utsläpp som inkluderas i denna studie). Givet nivån på jordbrukets övriga utsläpp (djurens fodermältning, gödsel, markanvändning) är spelrummet ytterst begränsat, dvs utsläppsminskningar från industri (som inkluderas i ESR), jordbruk (energirelaterade) och arbetsmaskiner är inte tillräckliga för att kompensera för ökade utsläpp från inrikes transporter. Utan markanta minskningar av transportsektorns utsläpp kan varken ESR-målet för 2030 eller det svenska målet för 2040 nås.

Fortsatt elektrifiering av lätta vägfordon kan ge betydande utsläppsminskningar. Våra resultat indikerar dock att sänkta skatter, sänkta reduktionskvoter och den slojade bonusen² för lätta elfordon kommer att åtminstone tillfälligt bromsa elektrifieringen. Denna slutsats har även branschorganisationen Mobility Sweden gjort, då man varnar för att andelen elbilar i nybilsregistreringen kommer att minska efter flera års stadig uppgång (Mobility Sweden, 2024). Vi har i en tidigare studie funnit att en inköpsbonus för nya elbilar i intervallet 30 000–50 000 kronor är tillräckligt för att åter snabba på elektrifieringen av bilparken. I samma studie utforskades även effekten av en ökande andel små bilar i fordonsflottan; detta resulterade i ca 5% lägre elbehov i bilparken år 2045 (jämfört med nuvarande trend med allt större bilar). (Forsberg m.fl., 2024)

Trafikslagsbyten och minskat resande kan minska den totala slutliga energianvändningen. Med de antaganden som gjorts här bidrar sådana förändringar till ca 20% energibesparing från inrikes transporter (detta är sannolikt en överskattning – i praktiken har sådana förändringar visat sig mycket svåra och långsamma). Med sänkta reduktionskvoter och långsammare takt i elektrifieringen kommer andelen fossila

¹ Vi har inte beaktat att lägre skatter kan leda till ökat körande

² Tidigare bonus till nya elbilar och lätta ellastbilar slopades i november 2022. I februari 2024 infördes en tillfällig bonus till nya lätta ellastbilar, denna har dock inte inkluderats i modellkörningarna här.

drivmedel att öka. Under dessa förutsättningar blir energibesparingar än viktigare då dessa resulterar i direkta minskningar av fossila utsläpp.

Slutsatser:

- Sänkta bränsleskatter och sänkta reduktionskvoter ökar transportsektorns CO₂-utsläpp.
- Utsläppsminskningar från övriga sektorer inom ESR kan inte fullt ut kompensera för ökade utsläpp från inrikes transporter.
- Utan markanta utsläppsminskningar från inrikes transporter kan varken ESR-målet för 2030 eller det svenska målet för 2040 nås.

Q2: Hur påverkas LULUCF av en ökad inhemsk produktion av biodrivmedel vid olika alternativ och vilka blir följd effekterna för ESR?

Med TIMES-Sweden kan effekten av att använda mer av restprodukter från skog och skogsindustri till produktion av biodrivmedel för t.ex. flyg och sjöfart jämfört med annan användning av samma restprodukter studeras (se även svar till Q3). TIMES-Sweden kan dock inte (i nuläget) explicit beakta upptaget av växthusgaser i skog och mark. Denna fråga kan således bara besvaras övergripande i resonerande termer.

Samtliga scenarier innehåller restriktiva antaganden kring uttag av biomassa från skogen, dvs. nuvarande upptag av växthusgaser i skog och mark antas inte avsevärt förändras i något av de körda scenarierna. I samtliga scenarier antas minskande import av biodrivmedel och från 2030 antas ingen import ske. Modellresultaten här och från tidigare modellkörningar indikerar att inhemsk biomassa (främst rester från skogsindustrin, se även svar till Q3 nedan) skulle kunna förse oss med 40–50 TWh biodrivmedel. Dvs. biodrivmedel från inhemsk biomassa skulle kunna ge ett mycket betydande bidrag till energiomställningen (inte minst till omställningen av transportsektorn) utan avsevärd negativ påverkan på LULUCF-budgeten, och därmed med begränsad effekt även på ESR-budgeten.

Q3. Vilka blir skillnaderna om biodrivmedel i olika andelar används till både flyg, sjöfart, vägtrafik och arbetsmaskiner – hur mycket räcker bioråvarorna till?

Frågan besvaras med en modellbaserad scenarioanalys, dvs. genom att analysera och jämföra utkomsten av olika scenarier där t.ex. biodrivmedel aktivt styrs till en viss sektor, eller scenarier där modellen fritt får välja den mest kostnadseffektiva användningen av begränsade resurser för att nå t.ex. ett specifikt klimatmål.

Modellresultaten indikerar (se *Figur 7*) att den inhemska biomassan räcker till att ställa om hela transportsektorn från fossilt till förnybart givet att stor andel lätta fordon samtidigt elektrifieras. För att nå 2030-målet krävs en ökad inblandning av biodrivmedel jämfört med idag, men resultaten indikerar samtidigt att med snabb och omfattande elektrifiering kan inblandningen av biodrivmedel sänkas avsevärt jämfört med reduktionspliktens ursprungliga kvoter (t.ex. är inblandningen 2030 ca 35% i *BAS_TRA*-scenariot i *Figur 7* – jämfört med 66% i den ursprungliga plikten).

På lång sikt, för att nå netto-noll för energisystemet som helhet, räcker dock inte inhemsk biomassa till både jordbruk, industri, arbetsmaskiner, värmeproduktion och transporter. Därför bör biomassa (och biodrivmedel) i första hand styras till de sektorer och applikationer som har få eller inga andra alternativ. Modellresultaten indikerar t.ex.

att svartlut och andra restprodukter från skogsindustrin gör större systemnytta som råvara till biodrivmedel (via förgasning) för tunga vägfordon, flyg och sjöfart samt för framställning av biobaserade insatsvaror till kemiindustrin, än som råvara för framställning av processvärme till industrin. Detta driver i sin tur förändringar inom industrin som tvingas finna andra källor till processvärme (här väljs t.ex. högtemperatur värmepumpar, vilket istället ökar industrins elanvändning).

Förgasning av skogsindustrins restprodukter erbjuder en resurseffektiv och flexibel användning av biomassa. Detta alternativ antas dock (i modellen) inte kommersiellt tillgängligt förrän 2030 och kan därmed inte bidra till uppfyllandet av 2030-målet. Att nå 2030-målet genom inblandning av biodrivmedel (med nuvarande elektrifieringstakt i transportsektorn) skulle i praktiken kräva ytterligare ökad import av främst biodiesel, detta har dock inte analyserats vidare inom denna studie.

Givet konkurrensen om begränsad biomassa är elektrifiering av både lätta och tunga vägfordon centralt; det frigör biodrivmedel och minskar därmed även behovet av energiintensiva och kostsamma e-bränslen som komplement till biodrivmedel (likt utfall har även observerats i tidigare modellanalyser, se Forsberg & Krook-Riekkola, 2024). Utöver elektrifiering kan även trafikslagsbyten och minskat totalt resande bidra till minskad konkurrens om biodrivmedel. Sådana förändringar (tillsammans med andra energieffektiviseringsåtgärder) minskar den totala slutliga energianvändningen och gör det relativt sett enklare att nå tuffa klimatmål med begränsade förnybara resurser.

Slutsatser:

- Biodrivmedel från inhemska råvaror (främst rester från skogsindustrin) räcker långt för omställningen av transportsektorn *förutsatt att* stor andel av lätta fordon samtidigt elektrifieras.
- Inhemsk biomassa räcker inte för omställning av alla sektorer; fokus bör ligga på biomassans systemnytta, dvs. resurser bör styras till de applikationer som har få eller inga andra bränslealternativ (tex flyg och sjöfart) samt att bidra med flexibilitet i elsystemet och till energiberedskap.
- Åtgärder som minskar konkurrensen om biomassa/biodrivmedel (elektrifiering, trafikslagsbyten, minskat resande, etc.) gör det relativt sett enklare att nå ambitiösa klimatmål med begränsade förnybara resurser.

Q4: Vad betyder det nationella ESR-målet för respektive berörd sektor som ingår, rent ekonomiskt, var är åtgärds-kostnaden lägst? I vilken utsträckning kan styrmedel utformas och hur?

Frågorna besvaras utifrån en modellbaserad scenarioanalys. Scenarier med bindande klimatmål och scenarier med olika prisnivåer inom EU:s utsläppshandel (ETS1 och ETS2) (men utan bindande mål) ger indikationer om inom vilka sektorer det är mest kostnadseffektivt att börja reducera CO₂ samt om ungefärliga nivåer på kostnader för att reducera CO₂. Inom detta uppdrag har det inte funnits tid att analysera och föreslå nya specifika styrmedel.

Resultaten från scenarier med bindande klimatmål för ESR-sektorn (se *BAS_ESR* i *Figur 5*) indikerar att utsläpp från lätta vägfordon är relativt sett billigast att reducera jämfört med andra utsläpp inom ESR-sektorerna; dessa börjar reduceras tidigare än utsläppen från jordbruk, industri och arbetsmaskiner. Utsläppen från inrikes sjöfart är

de sista fossila energirelaterade utsläpp som återstår i detta scenario, vilket indikerar att dessa är dyrast att reducera bland alla ESR-utsläpp. Kostnader för att reducera jordbrukets övriga utsläpp har inte analyserats. Dessa utsläpp kan dock inte reduceras markant (utan att samtidigt minska den inhemska jordbruksproduktionen, vilket vi inte beaktat som reellt alternativ), vilket i praktiken ställer än större krav på snabbare och mer omfattande utsläppsminskningar från övriga ESR-sektorer.

Marginalkostnaden för att nå specifika klimatmål ger inte nödvändigtvis en rättvisande bild av vad det faktiskt kostar att reducera utsläpp inom enskilda sektorer. Däremot kan den ändå ge en fingervisning om vilka strategier som är relativt sett dyrare än andra. Modellresultaten indikerar att omfattande och snabba utsläppsminskningar (redan till 2030) är kostsamt. Modellen väljer här att ställa av (vissa) existerande fossildrivna bilar i förtid och ersätta dessa med elbilar och tillkommande laddinfrastruktur. De höga marginalkostnaderna för att nå 2030 målet påverkas av antaganden kring import av biodrivmedel (som i denna scenarioanalys inte tillåts fr.o.m. 2030), inhemsk biomassatillgång (vilka i denna scenarioanalys är konservativa) samt när olika tekniker för produktion av andra generationens biodrivmedel förväntas bli tillgängliga (vilka i denna scenarioanalys är tidigast år 2030, vilket ger en initial stor kostnad det året). Ytterligare modellkörningar med olika varianter av dessa antaganden skulle dock krävas för att kunna dra slutsatser kring vilken som är den mest kostnadseffektiva strategin för att nå 2030-målet.

Modellresultaten visar att det föreslagna initiala pristaket för ETS2 om 45 €/ton är otillräckligt för att driva fram några betydande utsläppsminskningar. Tunga lastbilar och inrikes sjöfart, som allmänt anses svåra att ställa om, kräver ett ETS2-pris kring 130 €/ton (minimum). Detta motsvarar i princip en fördubbling av dagens CO₂-skatt för bränslen i Sverige, dvs. en ökning från ca 3 till ca 6 kr/liter diesel för tunga lastbilar. Vidare visar resultaten att ETS1-priset måste stiga till ca 150–200 €/ton för att ha markant effekt på flyg och internationell sjöfart. I februari 2023 låg ETS1-priset för första gången över 100 €/ton, men i skrivande stund har priset sjunkit till under 65 €/ton. Våra resultat visar att detta är alltför lågt för att avsevärt påverka utsläppen från flyg och sjöfart.

Modellscenarier med antagna trafikslagsbyten och minskat totalt resande minskar den totala energianvändningen och därmed även CO₂-utsläppen. Vi har dock inte analyserat vad som skulle krävas – eller vad det skulle kosta – att faktiskt åstadkomma dessa förändringar. Baserat på denna studie går det således inte att säga något om huruvida utsläppsreduktion genom sådana beteendeförändringar är mer eller mindre kostnadseffektivt än andra lösningar.

Slutsatser:

- Av de energirelaterade CO₂-utsläppen som omfattas av ESR är
 - Utsläpp från lätta vägfordon relativt sett billigast att reducera
 - Utsläpp från inrikes sjöfart relativt sett dyrast att reducera
- Dagens ETS1-pris (ca 65 €/ton) och det föreslagna pristaket för ETS2 (45 €/ton) är otillräckliga för att driva fram omfattande utsläppsminskningar från flyg och sjöfart – priserna bör ligga 2–3 gånger högre för att få markant effekt.
- Att nå snabba och omfattande utsläppsminskningar till 2030 är kostsamt.

Diskussion – övrigt

Bland alla körda scenarier är det endast de med bindande mål – som tvingar modellen att nå en viss utsläppsreduktion – som når de uppsatta klimatmålen. Detta indikerar att de styrmedel som inkluderas i övriga scenarier är otillräckliga både på kort och längre sikt. Handel med utsläppsrätter får antas vara det styrmedel som ensamt kan bidra till de största generella utsläppsminskningarna – det krävs dock priser som är flerfald högre än dagens för att detta ska få en tydlig och snabb effekt. Bland övriga scenarier märks de som inkluderar reduktionspliktens ursprungliga kvoter (som inte längre gäller); dessa reducerar transportsektorns utsläpp kraftigt redan till 2030, och kommer därmed även nära att nå ESR-målet för 2030 (dock med ökade bränslekostnader som följd). Utöver reduktionsplikten är utsläppskraven på nya lätta fordon det styrmedel som får tydligast effekt på transportsektorns utsläpp, dock först från 2040.

Referenser

- Boverket (2015), "Förslag till svensk tillämpning av nära-nollenergibyggnader", Rapport 2015:26, Boverket.
- Energimyndigheten (2023), "Drivmedel 2022 – Resultat och analys av rapportering enligt regelverken för hållbarhetskriterier, reduktionsplikt och drivmedelslag", ER 2023:19, ISSN: 1403-1892, Statens Energimyndighet, Eskilstuna.
- ER (2023), Dokument 6210/23, Europeiska Rådet, Bryssel, Belgien.
- EU (2023a), "Europaparlamentets och Rådets förordning (EU) 2023/851 av den 19 april 2023 om ändring av förordning (EU) 2019/631 vad gäller skärpning av normerna för koldioxidutsläpp från nya personbilar och nya lätta nyttofordon i linje med unionens höjda klimatambitioner", tillgänglig via: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/?uri=CELEX%3A32023R0851>
- EU (2023b), "Förslag till Europaparlamentets och Rådets förordning om ändring av förordning (EU) 2019/1242 vad gäller skärpning av normerna för koldioxidutsläpp från nya tunga fordon och införande av rapporteringsskyldigheter samt om upphävande av förordning (EU) 2018/956", tillgänglig via: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/?uri=CELEX:52023PC0088>
- Finansdepartementet (2023), "Sänkt skatt på bensin och diesel", PM Fi2023/02433, Finansdepartementet, Skatte- och tullavdelningen, Stockholm.
- Forsberg, J. (2024), "On the road to climate neutral Swedish transportation: Energy system modelling to support the transition at national, regional and local levels", Doktorsavhandling, Luleå tekniska universitet, Luleå, Sverige.
- Forsberg, J., Krook-Riekkola, A. (2024), "Freight transportation at a decarbonisation crossroads: Impact from different strategies on the Swedish energy transition" [Manuscript].
- Forsberg, J., Lindman, Å., Krook-Riekkola, A. (2024), "Tailoring decarbonisation strategies for passenger transportation by capturing contextual heterogeneity in TIMES-Sweden" [Manuscript under review].
- Forsberg, J., Lundmark, C., Krook-Riekkola, A. (2023), "Exploring local CO₂ mitigation strategies in transportation under ambitious national policies – A participatory energy system modelling approach" [Manuscript under review].
- Höjer, M., Åkerman, J., Berg Mårtensson, H. (2023), "Transportmålet omöjligt att nå utan minskat bilresande", Debattartikel, Aktuell Hållbarhet.
- IEA (2023), "Global Climate and Energy Model – Documentation 2023", International Energy Agency, Paris, France.
- Krook-Riekkola, A. (2015), "National Energy System Modelling for Supporting Energy and Climate Policy Decision-making: The Case of Sweden", Doktorsavhandling, Chalmers tekniska högskola, Göteborg, Sverige.
- Krook-Riekkola, A. (2016), "Klimatmålsanalys med TIMES-Sweden: Övergripande klimatmål 2045 i kombination med sektormål 2030", Bilaga 12 i *En klimat- och luftvårdsstrategi för Sverige. Delbetänkande av Miljömålsberedningen* (SOU 2016:47).

- Loulou m.fl. (2016), "Documentation for the TIMES model: Part I", IEA-ETSAP, Paris, France. Tillgänglig via: [https://iea-etsap.org/docs/Documentation for the TIMES Model-Part-I July-2016.pdf](https://iea-etsap.org/docs/Documentation%20for%20the%20TIMES%20Model-Part-I%20July-2016.pdf)
- Mobility Sweden (2024), "Under 2023 bromsade elektrifieringstakten in och förväntas minska under 2024", tillgänglig via https://mobilitysweden.se/statistik/Nyregistreringar_per_manad_1/nyregistreringar-2023_3/under-2023-bromsade-elektrifieringstakten-in-och-forvantas-minska-2024 (besökt 2024-02-01)
- Naturvårdsverket (2023a), "Underlag till regeringens kommande klimathandlingsplan och klimatredovisning", NV-08102-22, Naturvårdsverket, Stockholm.
- Naturvårdsverket (2023b), "Klimatet och jordbruket", tillgänglig via <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatomstallningen/omraden/klimatet-och-jordbruket/> (besökt 2024-02-01)
- Naturvårdsverket (2024), "Utsläpp inom utsläppshandeln och icke-handlande sektorn", tillgänglig via <https://www.naturvardsverket.se/data-och-statistik/klimat/vaxthusgaser-utslapp-i-den-handlande-och-icke-handlande-sektorn/> (besökt 2024-03-07)
- Nilsson, M., (2023) "Temperaturhöjning i klimatpolitiken – en ESO-rapport om EU:s nya lagstiftning i svensk kontext", Rapport 2023:7, Expertgruppen för Studier i Offentlig ekonomi (ESO).
- Regeringen (2018), "Effektiva, kapacitetsstarka och hållbara godstransporter – en nationell godstransportstrategi", N2018.21, Näringsdepartementet, Regeringskansliet, Stockholm.
- Regeringen (2023), "Sänkning av reduktionsplikten för bensin och diesel", Promemoria, Regeringskansliet, Stockholm.
- Sandberg, E. (2022), "National Energy System Modelling of Industry: Optimising the Transition Towards Carbon Neutrality", Doktorsavhandling, Luleå tekniska universitet, Luleå, Sverige.
- Skatteverket (2023), "Skatt på bränsle", tillgänglig via: <https://skatteverket.se/foretag/skatterochavdrag/punktskatter/energiskatter/skattpabransle.4.15532c7b1442f256bae5e56.html> (besökt 2023-12-18)
- Skogsstyrelsen & SLU (2015), "Skogliga konsekvensanalyser 2015 – SKA15", Rapport 10-2015, Skogsstyrelsen, Jönköping.
- Trafikanalys (2023), "Fit-for-55 – Transportpolitikens nya ramar", PM 2023:9, Trafikanalys, Stockholm.
- Trafikverket (2020a), "Prognos för persontrafiken 2040 – Trafikverkets Basprognoser 2020-06-15", Publikationsnummer: 2020:128, ISBN: 978-91-7725-660-1, Trafikverket, Borlänge.
- Trafikverket (2020b), "Prognos för godstransporter 2040 – Trafikverkets Basprognoser 2020", Publikationsnummer: 2020:125, ISBN: 978-91-7725-656-4, Trafikverket, Borlänge.

Trafikverket (2023), "Analysmetod och samhällsekonomiska kalkylvärden för transportsektorn: ASEK 7.1", Trafikverket, Borlänge, Sverige.

Bilaga 1. Modellantaganden

Tabell B.1. Inkluderade teknik- och drivmedelsval för inrikes persontransporter i TIMES-Sweden.

Trafikslag	Fordon	Teknik	Drivmedel ¹⁾	
VÄGTRANSPORT	Bil	Förbränningsmotor (diesel)	Diesel, biodiesel, (syntetisk) e-diesel	
		Förbränningsmotor (ottomotor)	Bensin, naturgas, biogas, bioetanol, biobensin, biometanol, e-bensin, e-metan, e-metanol	
		Hybrid (diesel)	Diesel, biodiesel, e-diesel	
		Hybrid (bensin)	Bensin, bioetanol, biobensin, biometanol, e-bensin	
		Laddhybrid (diesel)	El + Diesel, biodiesel, e-diesel	
		Laddhybrid (bensin)	El + Bensin, bioetanol, biobensin, biometanol, e-bensin	
		El (batteri)	El	
		Bränslecell	Vätgas	
	Motorcykel	Förbränningsmotor (ottomotor)	Bensin, biobensin, bioetanol, e-bensin	
		El (batteri)	El	
	Buss – stad	Förbränningsmotor (diesel)	Diesel, biodiesel, e-diesel, DME, e-DME, bioetanol (ED95)	
		Förbränningsmotor (ottomotor)	Bensin, naturgas, biogas, bioetanol, biobensin, biometanol, e-bensin, e-metan, e-metanol	
		El (batteri)	El	
		Bränslecell	Vätgas	
	Buss – region	Förbränningsmotor (diesel)	Diesel, biodiesel, e-diesel, DME, e-DME, bioetanol (ED95)	
		Förbränningsmotor (ottomotor)	Bensin, naturgas, biogas, bioetanol, biobensin, biometanol, e-bensin, e-metan, e-metanol	
		El (batteri)	El	
		Bränslecell	Vätgas	
	BANTRAFIK	Spårväg	El	El
		T-bana	El	El
Regionaltåg		El	El	
		Diesel	Diesel, biodiesel, e-diesel	
		Bränslecell	Vätgas	
Intercitytåg		El	El	
Snabbtåg		El	El	

Tabell B.1. Fortsättning från föregående sida.

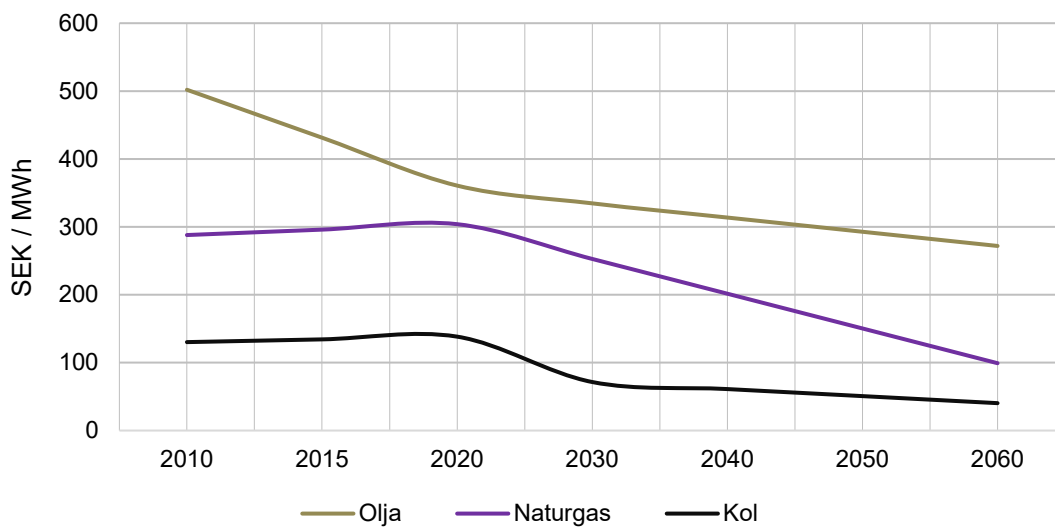
Trafikslag	Fordon	Teknik	Drivmedel ¹⁾
SJÖFART	Lokal / regional	Diesel	Diesel, biodiesel, e-diesel
		Gas	Naturgas, biogas, e-metan
		El (batteri)	El
	Havsgående	Konventionell	Diesel/olja, biodiesel, e-diesel
		Gas	Naturgas (LNG), biogas (LBG), e-metan
		Metanol	Biometanol, e-metanol
		Vätgas	Vätgas
FLYG	Flygplan	Konventionell	Flygbränsle, bio-flygbränsle, e-flygbränsle
		Alternativ	Vätgas

¹⁾ Observera att biodrivmedel kan produceras på olika vis (fermentering, rötning, förgasning, pyrolys, etc.) från en mängd olika inhemska och/eller importerade råvaror. Vätgas kan framställas från fossil eller förnybar råvara, eller via elektrolys. Samtliga syntetiska e-bränslen (förutom ammoniak) framställs från vätgas och infångad CO₂.

Tabell B.2. Inkluderade teknik- och drivmedelsval för inrikes godstransporter i TIMES-Sweden.

Trafikslag	Fordon	Teknik	Drivmedel ¹⁾
VÄGTRANSPORT	Lätt lastbil	Förbränningsmotor (diesel)	Diesel, biodiesel, (syntetisk) e-diesel
		Förbränningsmotor (ottomotor)	Bensin, naturgas, biogas, bioetanol, biobensin, biometanol, e-bensin, e-metan, e-metanol
		Hybrid (diesel)	Diesel, biodiesel, e-diesel
		Hybrid (bensin)	Bensin, bioetanol, biobensin, biometanol, e-bensin
		Laddhybrid (diesel)	El + Diesel, biodiesel, e-diesel
		Laddhybrid (bensin)	El + Bensin, bioetanol, biobensin, biometanol, e-bensin
		El (batteri)	El
		Bränslecell	Vätgas
	Distributionslastbil	Förbränningsmotor (diesel)	Diesel, biodiesel, e-diesel, DME, e-DME, bioetanol (ED95)
		Förbränningsmotor (ottomotor)	Naturgas, biogas, e-metan
		Hybrid (diesel)	Diesel, biodiesel, e-diesel
		El (batteri)	El
		Bränslecell	Vätgas
	Tung lastbil	Förbränningsmotor (diesel)	Diesel, biodiesel, e-diesel, DME, e-DME, bioetanol (ED95)
		Förbränningsmotor (ottomotor)	Naturgas, biogas, e-metan
Hybrid (diesel)		Diesel, biodiesel, e-diesel	
El (batteri)		El	
Bränslecell		Vätgas	
BAN-TRAFIK	Godståg	El	El
		Diesel	Diesel, biodiesel, e-diesel
		Bränslecell	Vätgas
Sjöfart	Lastfartyg	Konventionell	Diesel/olja, biodiesel, e-diesel
		Gas	Naturgas (LNG), biogas (LBG)
		Metanol	Biometanol, e-metanol
		Vätgas	Vätgas
		Ammoniak	Ammoniak (NH ₃)

¹⁾ Observera att biodrivmedel kan produceras på olika vis (fermentering, rötning, förgasning, pyrolys, etc.) från en mängd olika inhemska och/eller importerade råvaror. Vätgas kan framställas från fossil eller förnybar råvara, eller via elektrolys. Samtliga syntetiska e-bränslen (förutom ammoniak) framställs från vätgas och infångad CO₂.



Figur B.1. Antagna fossilenergipriser, från IEA:s Global Climate and Energy Model, "Announced Pledges Scenario" (IEA, 2023, sid. 19), omräknat till SEK/MWh. Priserna avser råvarukostnad exkl. distribution, skatter och moms.

Tabell B.3. Antagna priser inom EU ETS 1 och EU ETS 2, €/ton CO₂ i resp. period.

Case	Handelssystem	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
LÅG	ETS 1	7	25	44	60	75	91	106	180
	ETS 2	-	-	-	45	45	45	45	45
HÖG	ETS 1	7	25	100	115	130	145	264	265
	ETS 2	-	-	-	45	130	145	264	265

Tabell B.4. Antagen inrikes persontransportefterfrågan i basfallet, miljarder person-km i resp. tidsperiod.

Trafikslag	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Bil	107,98	108,01	111,95	101,21	113,72	119,70	125,99	132,62	137,04	141,62
MC	0,78	0,82	0,76	0,74	0,76	0,80	0,83	0,87	0,88	0,89
Buss	9,25	9,37	9,83	8,99	10,60	11,01	11,43	11,87	12,16	12,46
T-bana, spårväg	2,01	2,28	2,50	1,69	2,92	3,16	3,42	3,70	3,81	3,92
Tåg	8,94	11,16	12,65	8,13	15,21	16,68	18,29	20,05	21,06	22,11
Flyg	3,30	2,98	3,63	1,04	3,39	3,40	3,41	3,42	3,42	3,43
Sjöfart	0,22	0,26	0,27	0,21	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27

Tabell B.5. Antagen inrikes persontransportefterfrågan i överflyttningsscenarioet, miljarder person-km i resp. tidsperiod.

Trafikslag	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Bil	107,98	108,01	111,95	101,21	95,39	89,56	86,50	85,00	84,00	83,00
MC	0,78	0,82	0,76	0,74	0,76	0,80	0,83	0,87	0,88	0,89
Buss	9,25	9,37	9,83	8,99	20,22	20,97	21,75	22,56	23,12	23,69
T-bana, spårväg	2,01	2,28	2,50	1,69	7,31	7,91	8,55	9,25	9,52	9,79
Tåg	8,94	11,16	12,65	8,13	19,54	32,11	42,32	51,43	57,42	63,63
Flyg	3,30	2,98	3,63	1,04	3,39	3,40	3,41	3,42	3,42	3,43
Sjöfart	0,22	0,26	0,27	0,21	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27

Tabell B.6. Antagen inrikes persontransportefterfrågan i scenariot med minskat totalt resande, miljarder person-km i resp. tidsperiod.

Trafikslag	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Bil	107,98	108,01	111,95	101,21	95,39	89,56	86,50	85,00	84,00	83,00
MC	0,78	0,82	0,76	0,74	0,76	0,80	0,83	0,87	0,88	0,89
Buss	9,25	9,37	9,83	8,99	16,33	16,94	17,58	18,24	18,69	19,14
T-bana, spårväg	2,01	2,28	2,50	1,69	5,85	6,33	6,84	7,40	7,61	7,83
Tåg	8,94	11,16	12,65	8,13	16,59	25,14	31,93	40,43	45,97	51,76
Flyg	3,30	2,98	3,63	1,04	3,39	3,40	3,41	3,42	3,42	3,43
Sjöfart	0,22	0,26	0,27	0,21	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27

Tabell B.7. Antagen inrikes godstransportefterfrågan i basfallet, miljarder ton-km i resp. tidsperiod.

Trafikslag	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Lätt lastbil – gods	0,55	0,65	0,73	0,81	0,68	0,74	0,80	0,87	0,93	0,99
Lätt lastbil – service *	4,36	5,16	5,80	6,51	5,45	5,92	6,42	6,97	7,41	7,88
Medeltung lastbil	4,40	3,63	2,37	2,12	3,70	4,02	4,36	4,73	5,03	5,35
Tung lastbil	38,74	37,07	35,73	38,59	41,88	44,54	44,54	44,54	47,36	50,36
Tåg	14,12	14,83	12,80	14,07	15,20	16,41	17,73	19,14	20,28	21,49
Sjöfart	8,00	7,85	6,81	7,70	8,36	9,07	9,85	10,69	11,36	12,08

* Detta avser lätta lastbilar som används t.ex. av hantverkare vid utförandet av tjänster, dvs. fordon som inte primärt används för att forsla gods. Efterfrågan på dessa transporttjänster anges som service-km.

Tabell B.8. Antagen inrikes godstransportefterfrågan i överflyttningsscenariot, miljarder ton-km i resp. tidsperiod.

Trafikslag	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Lätt lastbil – gods	0,55	0,65	0,73	0,81	0,68	0,74	0,80	0,87	0,93	0,99
Lätt lastbil – service *	4,36	5,16	5,80	6,51	5,45	5,92	6,42	6,97	7,41	7,88
Medeltung lastbil	4,40	3,63	2,37	2,12	3,70	4,02	4,36	4,73	5,03	5,35
Tung lastbil	38,74	37,07	35,73	38,59	37,24	34,06	33,21	32,29	34,38	36,60
Tåg	14,12	14,83	12,80	14,07	19,00	24,62	26,59	28,72	30,43	32,24
Sjöfart	8,00	7,85	6,81	7,70	9,20	11,34	12,31	13,36	14,20	15,10

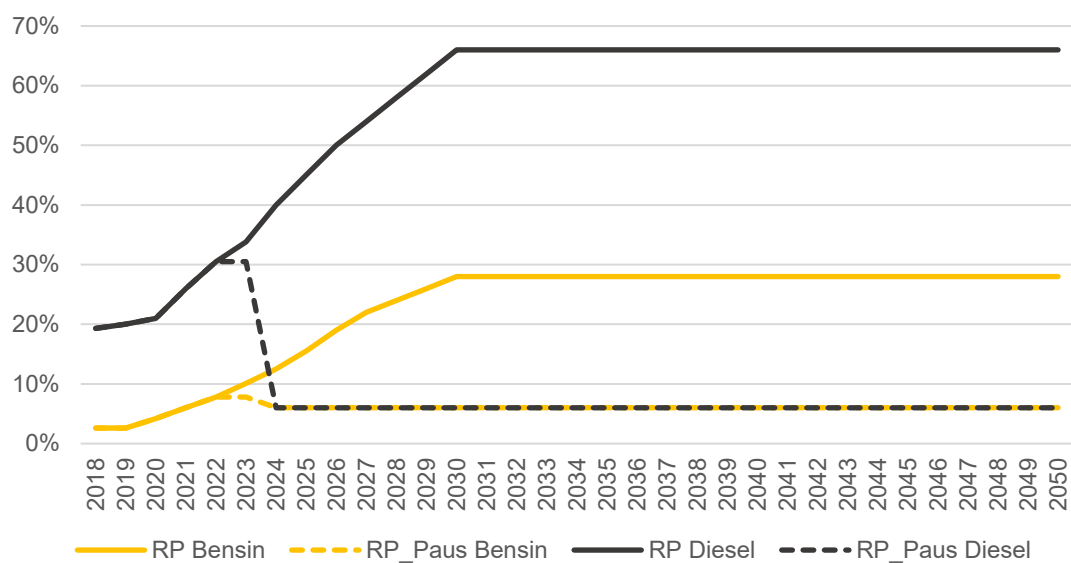
* Detta avser lätta lastbilar som används t.ex. av hantverkare vid utförandet av tjänster, dvs. fordon som inte primärt används för att forsla gods. Efterfrågan på dessa transporttjänster anges som service-km.

Tabell B.9. Antagen efterfrågan på internationella transporter med flyg och sjöfart, anges i petajoule (PJ) i resp. tidsperiod (1 TWh = 3,6 PJ).

Trafikslag	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Sjöfart	82,93	85,48	74,21	104,09	112,96	122,59	133,05	144,39	153,54	163,28
Flyg	28,11	30,29	31,12	14,35	31,30	31,90	32,50	33,10	33,70	34,30

Tabell B.10. Antagna drivmedelsskatter (energi och CO₂) för bensin och diesel, kr/liter, i Skatt23 respektive Skatt24 scenarier. Data från Skatteverket.

Scenario	Drivmedel	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Skatt23	Bensin	6,31	6,31	6,31	6,31	6,31	6,31	6,31
Skatt23	Diesel	4,07	4,07	4,07	4,07	4,07	4,07	4,07
Skatt24	Bensin	6,31	5,71	5,71	5,71	5,71	5,71	5,71
Skatt24	Diesel	4,07	3,72	3,72	3,72	3,72	3,72	3,72



Figur B.2. Antagna reduktionskvoter för bensin resp. diesel enligt den ursprungliga reduktionsplikten (RP) och efter sänkningen av kvoterna från 2024 (RP_Paus).