



Nr B 2440  
Maj 2022

# Klimatbedömning av el, fjärrvärme och fjärrkyla - delrapport inom Tidstegen 5

Anna Nilsson

**Författare:** Anna Nilsson, IVL Svenska Miljöinstitutet AB

**Medel från:** Borås Energi och Miljö, Göteborg Energi, Halmstad Energi och Miljö, Jämtkraft, Jönköping Energi, Kraftringen, Luleå Energi, Mälarenergi, Skellefteå Kraft, Stockholm Exergi, Tekniska Verken i Linköping, Telge Nät, Umeå Energi och Öresundskraft samt Stiftelsen Institutet för Vatten- och Luftvårdsforskning (SIVL)

**Rapportnummer** B 2440

**ISBN** 978-91-7883-373-3

**Upplaga** Finns endast som PDF-fil för egen utskrift

© **IVL Svenska Miljöinstitutet 2022**

IVL Svenska Miljöinstitutet AB, Box 210 60, 100 31 Stockholm

Tel 010-788 65 00 // [www.ivl.se](http://www.ivl.se)

Rapporten har granskats och godkänts i enlighet med IVL:s ledningssystem.

## Förord

Denna delrapport beskriver resultat i projektet Tidstegen 5. Tidstegen 5 är ett samfinansprojekt som pågår under 2020 till 2023 med finansiering från Stiftelsen Institutet för Vatten- och Luftvårdsforskning (SIVL) samt från ett antal energibolag.

Samfinansprojektet Tidstegen 5 har två övergripande syften. Dels att ta fram en robust och långsiktig modell för styrning, samverkan, förvaltning, drift och utveckling av verktyget Tidstegen. Dels ska projektet bidra till nyttiggörande av tidigare forskningsresultat genom bred spridning av metoden och verktyget Tidstegen i branschen. En mindre del av projektet fokuserar också på att utveckla metoden som används i verktyget.

I och med denna rapport uppdateras nu verktyget Tidstegen med nya emissionsfaktorer som påverkar klimatpåverkan från marginalproduktionen av el, fjärrvärme och kyla. Med dessa värden kan Tidstegen fånga både den utveckling som sker i energisystemet, såsom takten i omställningen av energisystemet och för effektivare energiproduktionsanläggningar, men också den ökade kunskapen om miljöpåverkan från olika energiproduktionslag.

## Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	5
Summary .....	6
1. Introduktion .....	7
2. Marginalproduktion elsystemet och klimatbedömning av el .....	8
2.1. Elscenarier.....	8
2.2. Marginalproduktion av el.....	10
2.3. Energisystemmodell.....	11
2.4. Antaganden och avgränsningar .....	12
2.5. Resultat: emissionsfaktorer för elanvändning.....	16
3. Klimatbedömning fjärrvärme och fjärrkyla .....	20
Referenser.....	22

# Sammanfattning

Tidstegen är en metod, och numera också ett digitalt verktyg där metoden tillämpas, som tagits fram under flera utvecklingsprojekt. Tidstegen-metoden består av fem olika delar varav sista delen innebär att man beräknar klimatpåverkan av energiåtgärder baserat på en förändrad energianvändning i byggnaden samt miljövärdesfaktorer för fjärrvärme, fjärrkyla, el och/eller bränslen. I denna rapport presenteras uppdaterade indata för att kunna göra klimatbedömningarna. Det handlar om marginalproduktionen i elsystemet, som i sin tur ger olika emissionsfaktorer för växthusgaser för elanvändning, samt emissionsfaktorer för olika bränslen som används vid produktion av fjärrvärme och fjärrkyla.

Fyra olika scenarier för elsystemets utveckling har tagits fram: *Ambitiöst Europa*, *Klimatneutralt Norden*, *Konservativt* och *Mycket konservativt*. Dessa fyra scenarier beskriver den timvisa elproduktionsmarginalen i Sverige, med hänsyn tagen till kopplingarna till det europeiska elsystemet, för åren 2020, 2025, 2030, 2040 samt 2050. Scenarierna besvarar frågan: "Hur påverkar en förändrad elanvändning i Sverige driftmarginalen i hela det europeiska elsystemet, givet olika scenarier?". Utifrån de timvisa serierna i scenarierna har därefter emissionsfaktorer för elanvändning tagits fram.

För att göra en klimatbedömning av en förändrad användning av värme och kyla används emissionsfaktorer för olika typer av bränslen. Dessa har nu uppdaterats, och några nya bränslen har lagts till. Emissionsfaktorerna inkluderar både produktion, distribution och användning (stationär förbränning) av de olika bränslena.

## Summary

*Tidstegen* is a method, and now also a digital tool where the method is applied, that has been developed during several projects. The method includes five steps, out of which the last step is to calculate the climate impact of changes of energy solutions in a building. The calculations are based on the changes in energy consumption because of the applied solution, as well as environmental impact factors for district heating, district cooling, electricity and/or fuels. In this report the updated data for making these climate assessments is presented: marginal production in the power system, and the resulting emission factor for electricity usage, as well as the emission factors for different fuels used in the district energy sector.

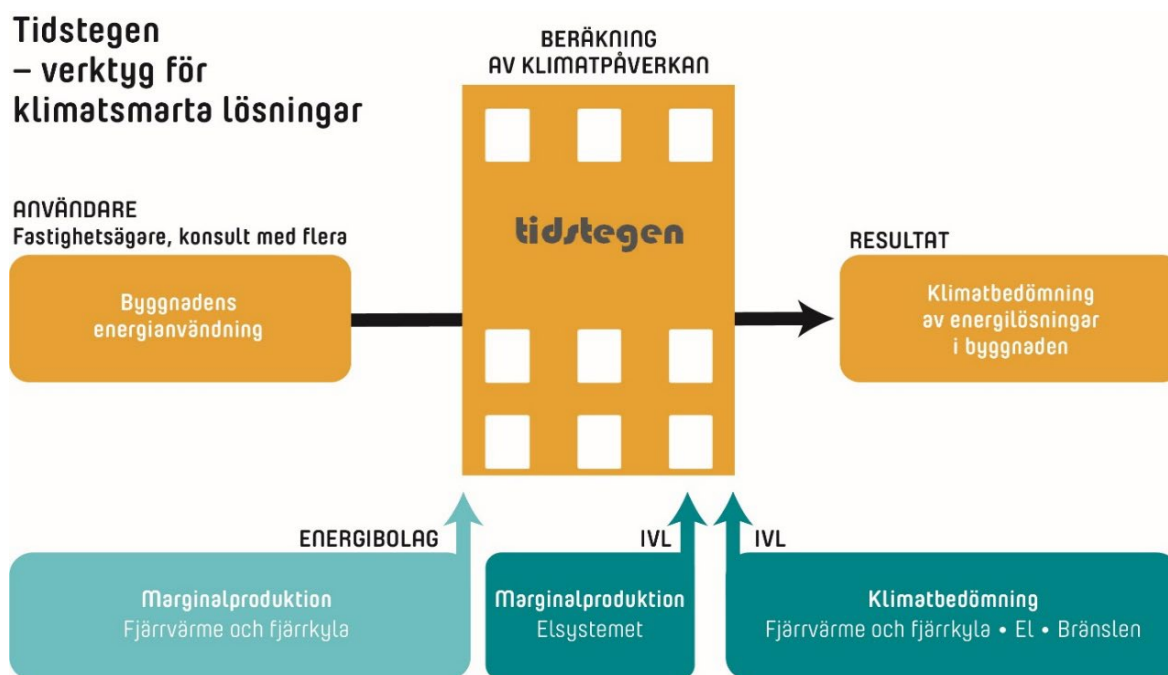
Four different scenarios for the future power system have been developed: *Ambitiöst Europa*, *Klimatneutralt Norden*, *Konservativt* and *Mycket konservativt*. These four scenarios describe the hourly marginal production of electricity in Sweden, taking into account the connections to the rest of Europe, and for year 2020, 2025, 2030, 2040 and 2050. The scenarios answer the following question: “How is a change in electricity consumption in Sweden affecting the marginal production of electricity in the European power system, given different scenarios?”. Building upon these hourly data series for each scenario, emission factors for the use of electricity have been developed.

To make climate assessments of changes in the use of district heating and -cooling, emission factors for different types of fuels are used. These factors have now been updated, and a number of new fuels have been added. The emissions factors include both the production, distribution, and stationary combustion of these different fuels.

# 1. Introduktion

Tidstegen är en metod, och numera också ett digitalt verktyg där metoden tillämpas, som tagits fram under flera utvecklingsprojekt. Metoden och verktyget kan användas för att analysera miljökonsekvenserna av olika energilösningar i byggnader [1]. Energilösningar kan vara både lösningar för förbättrad energieffektivitet och för olika källor för el, värme eller kyla. Metoden ska visa på effekterna av olika val och ge underlag för att planera byggnaders energilösningar. Utgångspunkten är därför att analysera konsekvenser av förändrad energianvändning; att göra en jämförelse av olika energilösningar mot en referensbyggnad utan åtgärderna installerade. I miljövärderingstermer brukar detta kallas för konsekvensanalys (i kontrast till bokföringsanalys) [2].

Tidstegen-metoden består schematiskt av fem olika delar, presenterade i Figur 1. Den sista delen i Tidstegen-metoden innebär att man beräknar klimatpåverkan av de aktuella energiåtgärderna baserat på en förändrad energianvändning i byggnaden samt miljövärdesfaktorer för fjärrvärme, fjärrkyla, el och/eller bränslen (*Klimatbedömning* i bilden nedan). I denna rapport presenteras uppdaterade indata för att kunna göra klimatbedömningarna. Det handlar framför allt om uppdaterade elscenarier för marginalproduktionen i elsystemet samt emissionsfaktorer för olika bränslen.



Figur 1 Överblick av de olika principiella delarna av beräkningsgången i Tidstegen. Utmärkande för Tidstegen-metoden är dess fokus på tidsupplösning, framåtblickande och konsekvensperspektiv.

## 2. Marginalproduktion elsystemet och klimatbedömning av el

I Tidstegen-metodens beräkningsgång används timupplösta emissionsfaktorer för en förändrad användning av el (*Marginalproduktion, Elsystemet* i Figur 1 ovan). Emissionsfaktorerna, uttryckta i koldioxidekvivalenter per energienhet el, representerar hur klimatpåverkan ändras när elanvändningen ändras och kopplas till marginalproduktionen av el. Eftersom Tidstegen har ett framåtblickande perspektiv, används olika scenarier för hur klimatpåverkan för marginalelen kommer att utvecklas över längre tid. I nedanstående avsnitt presenteras den metod som använts för att ta fram nya elscenarier till Tidstegen.

### 2.1. Elscenarier

För att studera den framtida utvecklingen av olika system har scenarioanalyser blivit en spridd metod. Med hjälp av scenarier kan man visa på olika framtida utvecklingsvägar. I [4] presenteras tre olika kategorier av scenarier: prediktiva, explorativa och normativa. Dessa olika kategorier av scenarier kan hjälpa till att besvara olika typer av frågor: *Vad kommer hända?* (prediktiva scenarier), *Vad kan hända?* (explorativa scenarier) eller *Hur kan ett specifikt mål uppnås?* (normativa). När det kommer till scenarier som används i energisystemmodellering, och kanske framför allt i energisystemoptimeringsmodeller, används ofta normativa scenarier. Gränsen mellan olika scenariokategorier är dock inte knivskarp och kombinationer av scenariokategorier kan användas.

I [1] belystes det mått av osäkerhet som omgärdar energisystemets framtida utveckling och hur detta påverkar möjligheterna att göra prognoser. För att göra en klimatbedömning av elen i Tidstegen används därför olika scenarier för att undersöka robustheten i energilösningarnas miljöpåverkan utifrån olika vägar för den framtida utvecklingen av energisystemet. Fyra nya scenarier har tagits fram med hjälp av energisystemoptimeringsmodellen Balmorel. Dessa fyra scenarier beskriver den timvisa elproduktionsmarginalen i Sverige, med hänsyn tagen till kopplingarna till det europeiska elsystemet (EU18), för åren 2020, 2025, 2030, 2040 samt 2050.

Elscenarierna som tagits fram i Tidstegen 5 bygger på scenarier utvecklade inom ramen för forskningsprojektet Nordic Clean Energy Scenarios 2020 [3]. Inom forskningsprojektet har målet varit att utveckla scenarier som visar hur de nordiska länderna kan uppnå klimatneutralitet till 2030, det vill säga i hög utsträckning normativa scenarier. De elscenarierna som valdes ut för Tidstegen har modifierats något och därtill kalibrerats gentemot scenarier som tagits fram inom North European Energy Perspectives Project (NEPP) [4] och av Svenska Kraftnät [5]. På så sätt analyseras också elscenarier där det nordiska elsystemet inte uppnår koldioxidneutralitet sett till de direkta emissionerna.

Elscenarierna som tagits fram har formulerats utifrån fyra frågeställningar som bedöms ha en stor påverkan på det framtida elsystemet:

1. Hur starka politiska signaler, återspeglade i priset på koldioxid, kommer att skickas för att minska energisektorns klimatpåverkan?
2. Hur stor kommer allmänhetens acceptans vara för utbyggnaden av sol- och vindkraft?
3. Hur kommer efterfrågan på el, och framför allt efterfrågan på elektrobränslen (*Power-to-X*), såsom vätgas, och elektrifieringen av industrin, att utvecklas?
4. Kommer det nordiska elsystemet att vara koldioxid neutralt till år 2050?



Med utgångspunkt i ovanstående frågeställningar, formulerades de fyra scenarier som presenteras kort i Tabell 1 samt mer utförligt senare i denna rapport.

Tabell 1 Grundantaganden i de fyra elscenarierna

	Scenario			
	Mycket konservativt <i>Konservativ hållning till klimatomställning</i>	Konservativt <i>Oförändrat policyläge</i>	Klimatneutralt Norden <i>Norden uppfyller mål om klimatneutralitet</i>	Ambitiöst Europa <i>Hela Europa ställer om, Norden bidrar</i>
Koldioxidpris	Konstant, 25€/ton	Konstant, 50€/ton	Ökande, 100€/ton år 2040	Kraftigt ökande, 140€/ton år 2040
Acceptans för sol- och vindkraft	Låg	Låg	Medel	Medel
Industriell elektrifiering/ efterfrågan på elektrobränslen	Låg	Låg	Medel	Hög
Nordiska elsystemet CO2-neutralt till 2050	Nej	Nej	Ja	Ja

### Scenario *Mycket konservativt*

Scenariot *Mycket konservativt* representerar en konservativ prognos för det europeiska elsystemet. Dels innehåller det låga prognoser för solkraft och landbaserad vindkraft, framför allt på grund av en låg acceptans hos allmänheten för utbyggnaden av dessa energislag. Priset på koldioxid antas vara konstant på 2020 års nivå, det vill säga 25 €/ton CO<sub>2</sub>. Samtidigt ses en ökad elektrifiering av värme- och transportsektorn, men efterfrågan på elektrobränslen (Power-to-X) och elektrifieringen av industrin är låg. Även om elsektorn uppvisar en minskning i utsläpp av växthusgaser kommer inte det europeiska elsystemet att vara koldioxidneutralt till 2050 och de europeiska länderna kommer inte att nå sina långsiktiga mål för minskningen av växthusgaser.

### Scenario *Konservativt*

Scenariot *Konservativt* påminner i hög grad om *Mycket konservativt*, men med skillnaden att priset på koldioxid antas ligga konstant på 50 €/ton CO<sub>2</sub>. Detta scenario avspeglar det nuvarande policyläget i Europa.

### Scenario *Klimatneutralt Norden*

Scenariot *Klimatneutralt Norden* representerar ett scenario i vilket de nordiska länderna blir klimatneutrala till år 2050 medan resten av Europa uppnår en procentuell minskning av växthusgaser med 80 % till år 2050. Klimatomställningen i elsektorn i detta scenario beror dels på ett högre koldioxidpris (100 €/ton år 2040) och en högre utbyggnadstakt av sol- och vindkraft än i de två konservativa scenarierna. Samtidigt sker en ökad nordisk efterfrågan på elektrobränslen för att minska klimatpåverkan från industri och långväga transporter, medan det i övriga Europa är en låg efterfrågan på dessa produkter. I jämförelse med övriga scenarier, där kärnkraften antas ha fasats ut efter 2040, antas det att 3 GW kärnkraft fortsatt finns i det svenska elsystemet år 2050.

## Scenario *Ambitiöst Europa*

Scenariot *Ambitiöst Europa* representerar en ambitiös utveckling för det nordiska energisystemet där de nordiska länderna inte bara blir klimatneutrala själva utan dessutom exporterar billig, förnybar energi och elektrobränslen med låg klimatpåverkan till övriga Europa. Europa kan på så sätt minska sin klimatpåverkan med mellan 90–100% från 2020 till 2050. Utvecklingen i scenariot drivs av höga koldioxidpriser (140 €/ton år 2040). Till följd av en ökad efterfrågan på elektrobränslen, såsom vätgas och ammoniak, ökar den europeiska efterfrågan på el med 90% mellan 2020 och 2050.

## 2.2. Marginalproduktion av el

På en välfungerande marknad, utan flaskhalsar, skall användningen av en vara alltid täckas av den billigaste produktionsteknologin som finns tillgänglig [6]. Utifrån det resonemanget är den elproduktionsteknik som täcker den sista använda kilowattimmen el, det vill säga marginalproduktionen, den anläggning som har den högsta marginalkostnaden av de anläggningar som är i drift vid ett givet tillfälle. I elsystemet varierar både elanvändningen och elproduktionen vid varje timme, och det sker en ständig matchning av utbud och efterfrågan, detta innebär i sin tur att den elproduktion som ligger på marginalen också varierar.

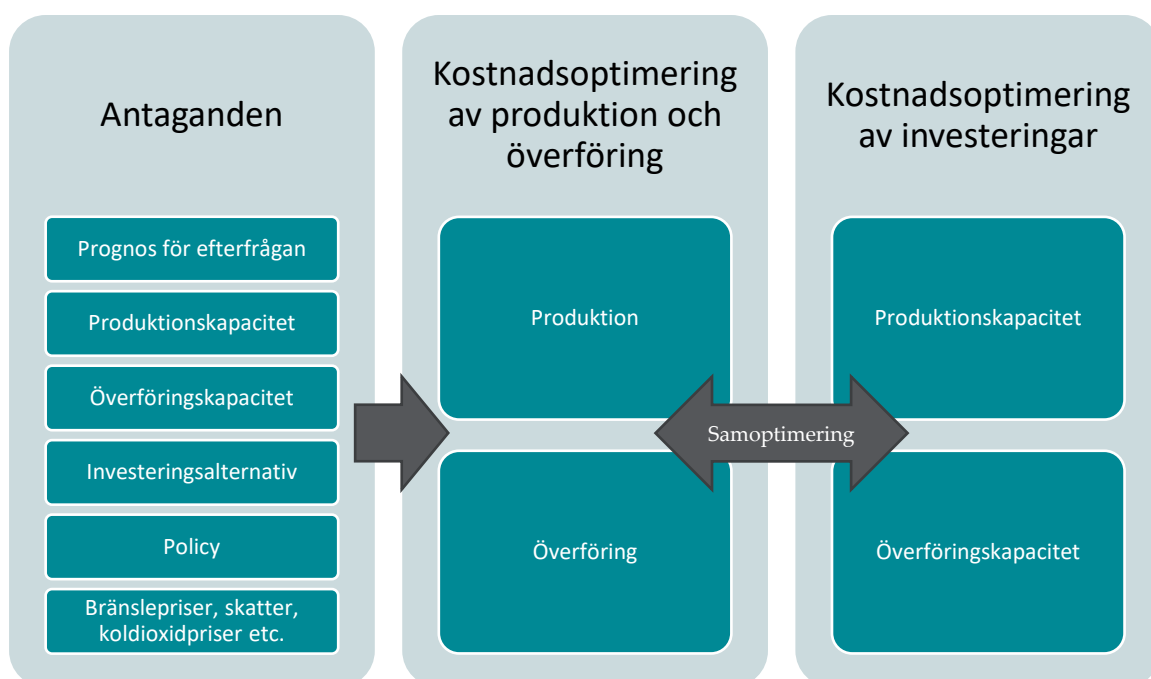
Inom konsekvensanalys, vilket är den metod som tillämpas i Tidstegen, brukar konsekvenser delas in i kortsiktiga respektive långsiktiga [1]. Då olika energilösningar ofta har en relativt lång livslängd kommer de att påverka systemet på både kort och lång sikt; konsekvensen av en förändrad elanvändning kan i många fall därför vara en kombination av både kort- och långsiktiga konsekvenser. I [2] beskrivs hur den så kallade komplexa marginalen, en kombination av både långsiktiga och kortsiktiga konsekvenser av en förändrad elanvändning, i teorin är den marginal som är mest korrekt att använda för miljövärdering av energi. Dock är den komplexa marginalen ofta problematisk att beräkna och stöter bland annat på utmaningar på grund av stora mått av osäkerheter. En förenklad metod, exempelvis genom att endast fokusera på kortsiktiga konsekvenser, kan därför användas.

I tidigare elscenarier för Tidstegen, som togs fram i [1], tog man hänsyn till både långsiktiga och kortsiktiga konsekvenser av en förändrad elanvändning genom att inkludera både driftmarginal och byggmarginal i marginalproduktionen för elsystemet. Driftmarginalen studerar vilka energitekniker i det befintliga energisystemet som kommer att ändra sin produktion utifrån energilösningens energiförbrukning, det vill säga förändringar i driften av anläggningarna [2]. Byggmarginalen studerar vilka energitekniker som byggs, men även rivs, på grund av förändringar under en längre tid, det vill säga förändringar i installerad kapacitet. För en harmonisering med hur man hanterar marginalproduktionen av fjärrvärme och -kyla i Tidstegen, då man endast tar hänsyn till produktionsmarginalen, har man i de nya elscenarierna valt att endast inkludera driftmarginalen. Detta för att få en mer rättvis jämförelse mellan klimatpåverkan från el, värme och kyla. Vilka elproduktionsslag som på lång sikt byggs ut eller läggs har antagits bero på de faktorer som fångas upp i de fyra elscenarierna som tagits fram.

För att kunna analysera möjliga framtida utvecklingsvägar för elsystemet och påverkan på marginalelproduktionen i en svensk kontext, är inte ett nationellt perspektiv tillräckligt [1]. Det svenska elsystemet är tätt sammankopplat med våra grannländer och det bör tas hänsyn till att det svenska elsystemet är integrerat med övriga Europa. Den marginaldata som tagits fram ska besvara frågan: "Hur påverkar en förändrad elanvändning i Sverige driftmarginalen i hela det europeiska elsystemet, givet olika scenarier?".

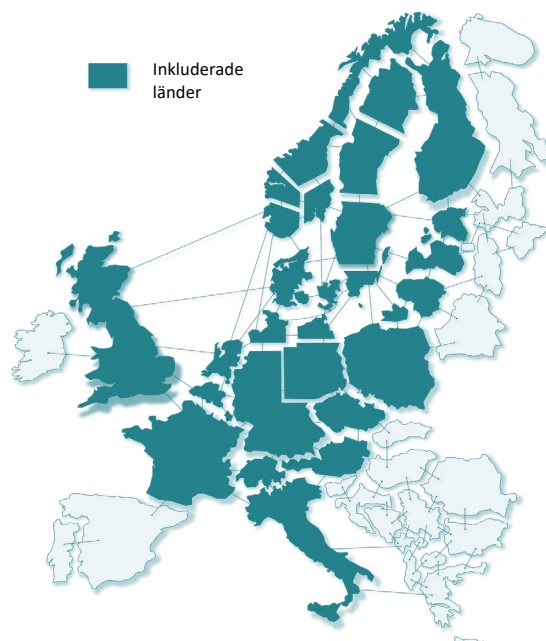
## 2.3. Energisystemmodell

För att ta fram marginalelproduktionen i det europeiska systemet, och i respektive scenario, anlitas det danska konsultbolaget EA Energianalyse. EA Energianalyse har använt sig av energisystemoptimeringsmodellen Balmorel för att göra analysen. Balmorel är en modell som optimerar både drift och investeringar i ny kapacitet, samt samoptimerar produktion och överföring av energi [7], se Figur 2. Resultat som man kan få från modellkörningar är den optimala produktionsmixen, timvisa produktionsmixar och elpriser, optimal överföringskapacitet etc. Balmorel är en modell med öppen källkod och som har kodats i GAMS. Med hjälp av Balmorel kan man göra analyser av energisektorn med speciellt fokus på el samt fjärrvärme och -kyla, inklusive produktion och efterfrågan av Power-to-X.



**Figur 2 Balmorel samoptimerar drift och investeringar givet vissa antaganden. Bearbetning av bild från EA Energianalyse.**

För ett definierat elscenario, körs dels ett grundfall, dels ett alternativt fall. I det alternativa fallet ändras efterfrågan under en specifik timme. Det påverkar hur mycket elenergi som produceras under just den timmen. Produktionen i det alternativa fallet jämförs sedan med produktionen i grundfallet – skillnaden utgör marginalproduktionen. För att ta fram driftmarginalen, gjordes en förändring i efterfrågan i Sverige vilket i sin tur påverkade produktionen i hela det europeiska, modellerade området (se Figur 3). Sverige modellerades med fyra elområden och en förändring i efterfrågan gjordes proportionellt för varje elområde utifrån nuvarande andel av den totala efterfrågan i Sverige. För att få fram just driftmarginalen gjordes följande: ingen ny kapacitet tilläts, förändringen i efterfrågan var 1 TWh/år, produktion av vattenkraft hölls konstant och när efterfrågan ökades kunde tidigare nedstörd produktion av el från vind eller sol användas.



Figur 3 I energisystemmodellen inkluderas 18 europeiska länder.  
Bearbetning av bild från EA Energianalyse.

## 2.4. Antaganden och avgränsningar

Balmorel är en optimeringsmodell som optimerar utifrån givna förutsättningar. För att få mer realistiska resultat krävs att man lägger in antaganden kring exempelvis kostnader, klimat, miljöpåverkan, begränsningar för elproduktion eller överföringskapacitet samt efterfrågan på el. I följande stycken presenteras de huvudantaganden som har gjorts. Vissa antaganden har gjorts för respektive scenario, andra är gemensamma för alla fyra scenarier.

### Bränsle- och koldioxidpriser

Priset på fossila bränslen (kol, olja och naturgas) och biomassa (träflis och pellets) är baserat på *Sustainable Development Scenario* från IEA:s *World Energy Outlook 2020* [8]. Priserna antas vara samma oberoende av elscenario. Priserna för 2030 och 2040 har hämtats ifrån *Sustainable Development Scenario* och därefter extrapolerats till övriga år i analysen. För 2021 har terminspriser, vilket är det övervägande sättet som råvaror prissätts på, använts. Mellan 2021 och 2030 görs prognosen att priserna kommer att konvergera med IEA:s prisprognoser. Se bränslepriserna år 2050 i Tabell 2. Observera att priserna är i EUR20, vilket innebär i 2020 års värdenivå.

Tabell 2 Bränslepriser på kol, olja, naturgas, träflis och pellets [EUR20/GJ]

	Kol	Eldningsolja	Naturgas	Träflis	Träpellets
Bränslepris år 2050, €20/GJ	2	7	5	8	10

Priset på koldioxid varierar beroende på elscenario. För priset på koldioxid används nuvarande prisnivå (2021) vilket konvergerar till den prisnivå som antagits för respektive scenario, se Tabell 3. Nivån 140 € per ton koldioxid, som används i *Ambitiöst Europa*, har tagits från IEA:s *Sustainable Development Scenario*. Nivån 50 €/ton CO<sub>2</sub> som används i *Konservativt* har tagits från IEA:s *Stated Policies scenario*.

Tabell 3 Koldioxidpriser år 2050 i respektive scenario [€/ton CO<sub>2</sub>], samt utvecklingen från år 2021

Scenario	Koldioxidpris 2050, €/ton CO <sub>2</sub>	Utveckling från 2021
Mycket konservativt	25	Konstant
Konservativt	50	Konstant
Klimatneutralt Norden	100	Linjärt till 2040
Ambitiöst Europa	140	Linjärt till 2050

## Elproduktionskapacitet

Vissa antaganden har gjorts för den svenska elproduktionskapaciteten. I vissa fall skiljer sig antagandena åt mellan de fyra elscenarierna. Observera dock att oavsett vilka antaganden som gjorts om svenska elproduktionstekniker, exempelvis om livstidsförlängning av svenska kärnkraftreaktorer, så är Sverige sammankopplat med övriga Europa och vilken elproduktionskapacitet som finns där påverkar då hur själva marginalproduktionen ser ut.

Potentialen för landbaserad vindkraft är baserad på Energimyndighetens analys i "Nationell strategi för en hållbar vindkraft"[9] och presenteras i Tabell 4. Myndighetens analys har omvandlats till uppskattade kapaciteter. I de två mer konservativa scenarierna, *Mycket konservativt* och *Konservativt*, antas ett större motstånd mot vindkraftsutbyggnad, vilket innebär att potentialen sett till installerad effekt är något lägre.

Tabell 4 Sveriges potential för landbaserad vindkraft, per scenario och år [MW]

	2025	2030	2040	2050
Mycket konservativt	12 000	15 000	24 920	30 000
Konservativt				
Klimatneutralt Norden	17 300	21 533	30 000	30 000
Ambitiöst Europa				

För kraftvärmens kapacitet har antaganden baserats på Svenska Kraftnäts kortsiktiga marknadsanalys från 2020 [10], dessa presenteras Tabell 5. Svenska Kraftnät har antagit att Karlshamnsverket och Heleneholmsverket tas ur drift 2025 vilket minskar den installerade kapaciteten i SE4 tydligt. Den maximala kapaciteten har inte justerats utifrån varje elscenario.

Tabell 5 Svensk kraftvärmekapacitet, per elområde och år [MW] [10]

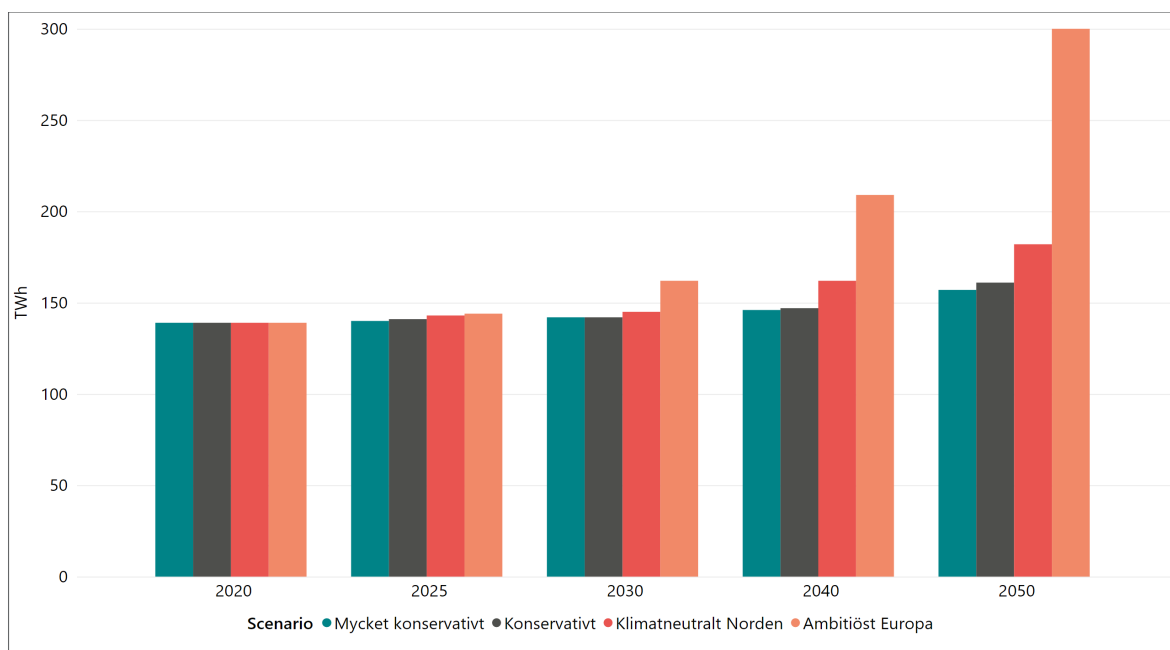
	2021	2022	2023	2024	2025
Sverige	5 660	5 660	5 700	5 730	4 960
Elområde 1 (SE1)	290	290	290	290	290
Elområde 2 (SE2)	760	760	760	760	760
Elområde 3 (SE3)	3 100	3 100	3 140	3 160	3 160
Elområde 4 (SE4)	1 510	1 510	1 510	1 510	750

För kärnkraften antogs att den svenska kärnkraften fasas ut efter 2040. Detta antagande görs för samtliga scenarier förutom *Klimatneutralt Norden* där antagandet görs att 3 GW kärnkraft kommer att finnas kvar även 2050. Detta är i linje med antaganden som gjorts av Svenska Kraftnät i deras scenario *Färdplaner mixat* och där två kärnkraftsreaktorer livstidsförlängs för drift efter 2050 [5].

## Elanvändning

Efterfrågan på el i det modellerade området (EU18) är baserad på Europiska Kommissionens långsiktiga strategi till 2050 (LTS 2018) och följer det så kallade COMBO-scenariot. COMBO-scenariot beskrivs mer utförligt i [11]. Vissa justeringar av efterfrågan har gjorts i respektive elscenario, framför allt med avseende på efterfrågan på Power-to-X (i huvudsak vätgas). I *Ambitiöst Europa* har COMBO-scenariot använts rakt av, detta innebär att de nordiska länderna blir fossilfria till 2050. I *Ambitiöst Europa* kan Power-to-X distribueras mellan länderna i Europa mot en transportavgift, vilket leder till en högre produktion av Power-to-X i de nordiska länderna. I *Klimatneutralt Norden* har efterfrågan på Power-to-X i Europa minskats med 30% relativt COMBO-scenariot och i *Konservativt* och *Mycket konservativt* har efterfrågan på dessa produkter minskats med 75%.

Den svenska elanvändningen för respektive år och elscenario visas i Figur 4. Elanvändningen ligger relativt konstant mellan 2020 och 2025. Under 2030 ökar den dock i framför allt *Ambitiöst Europa*, framför allt till följd av en ökad användning av el för Power-to-X. Ökningen fortsätter därefter ytterligare under 2040 och 2050.



Figur 4 Sveriges elanvändning per år och scenario [TWh]

## Klimatdata

I modelleringen i Balmorel har klimatdata från år 2014 använts för att simulera produktionen från till exempel vindkraft och solkraft. I brist på timupplöst data för framtida klimat har denna klimatdata använts för samtliga år. 2015 rapporterade SMHI att medeltemperaturen för Sverige år 2014 varit den hittills högsta som noterats [12]. Det var endast ett fåtal perioder med ovanligt kallt väder, medan de varma perioderna var desto mer förekommande. Det var framför allt en hel del värme i södra Sverige. Vid månadsskiftet juli-augusti inträffade en lång värmebölja, och då

inträffade bland annat en svår skogsbrand i Västmanland. Nederbördsmissigt kan man kortfattat säga att södra Sverige fick mer nederbörd än normalt medan norra halvan av landet hade mindre nederbörd än normalt.

### Klimatpåverkan för olika elproduktionstekniker

Teknikerna i energisystemmodellen kopplas till miljövärden (exempelvis i enheten kg CO<sub>2e</sub>/MWh). På så sätt beräknas hur en förändrad elanvändning under en viss tidpunkt påverkar elsystemets miljöpåverkan. Elanvändning miljövärderas på detta sätt för vart och ett av timmarna för varje år (2020, 2025, 2030, 2040 och 2050) som finns representerat i modellen för den aktuella tidsperioden.

Vid körningen av energisystemmodellen i Balmorel har optimeringen av elsystemet skett utifrån direkta emissioner, det vill säga utsläpp av klimatgaser vid förbränningen av bränslen. Vid beräkningen av emissionsfaktorerna för den slutgiltiga elproduktionsmixen (output från körningarna i Balmorel) har dock emissionsfaktorer med ett LCA-perspektiv (inklusive uppströms utsläpp) använts antingen för det ingående bränslet eller för elproduktionstekniken (för kärn-, sol- och vindkraft). Data har levererats på ett sådant format att emissionsfaktorerna för bränslen och elproduktionstekniker kan uppdateras i Tidstegen framöver, utan att nya elscenarier behöver tas fram.

Emissionsfaktorerna som används som miljöpåverkansfaktorer är i stor utsträckning baserade på värden från Miljöfaktaboken [13] för indirekta emissioner, samt från Naturvårdsverket [14], för direkta emissioner. Vissa kompletteringar har gjorts av EA Energianalyse i de fall då emissionsfaktorer för vissa bränslen saknats i Miljöfaktaboken eller från Naturvårdsverket. Data har levererats från EA Energianalyse på ett sådant format att emissionsfaktorerna för bränslen och elproduktionstekniker kan uppdateras framöver, utan att nya scenarier behöver tas fram. De emissionsfaktorer för respektive elproduktionsteknik som använts för att ta fram figurerna i denna rapport presenteras i Tabell 6.

**Tabell 6 Emissionsfaktorer för elproduktionstekniker 2022, observera enheterna.**

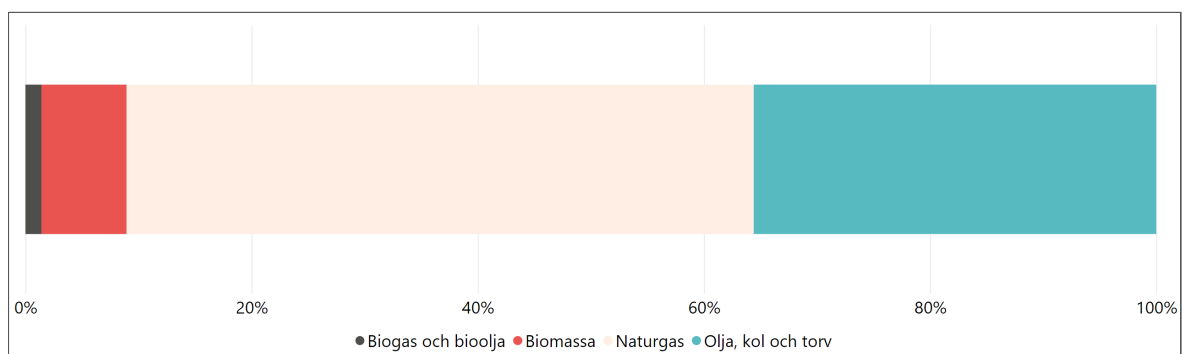
Typ	Emissionsfaktor 2022	Enhet
Hushållsavfall	41.41	kg CO <sub>2e</sub> /GJ
Biogas	6.11	kg CO <sub>2e</sub> /GJ
Biomassa	10.00	g CO <sub>2e</sub> /kWh
Bioolja	23.06	kg CO <sub>2e</sub> /GJ
EO2-EO5	82.50	kg CO <sub>2e</sub> /GJ
Kärnkraft	5.89	g CO <sub>2e</sub> /kWh
Kol	108.61	kg CO <sub>2e</sub> /GJ
EO1	80.56	kg CO <sub>2e</sub> /GJ
Naturgas	69.17	kg CO <sub>2e</sub> /GJ
Pellets	5.56	kg CO <sub>2e</sub> /GJ
Solkraft	27.00	g CO <sub>2e</sub> /kWh
Stenkol	108.61	kg CO <sub>2e</sub> /GJ
Halm	10.83	kg CO <sub>2e</sub> /GJ
Torv	116.11	kg CO <sub>2e</sub> /GJ
Vattenkraft	10.52	g CO <sub>2e</sub> /kWh
Vindkraft	14.71	g CO <sub>2e</sub> /kWh
Träavfall	3.06	kg CO <sub>2e</sub> /GJ



## 2.5. Resultat: emissionsfaktorer för elanvändning

### Marginalproduktion

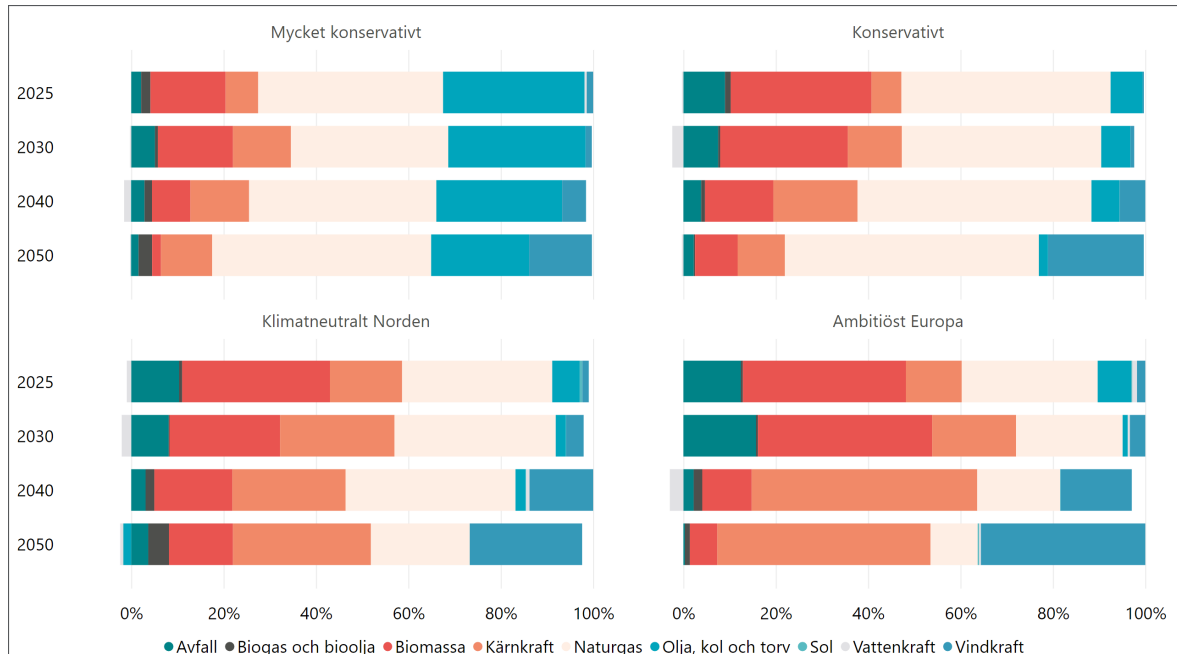
Den timvisa marginalproduktionen simulerades för åren 2020, 2025, 2030, 2040 och 2050 men för att kunna ge en överblick av resultatet presenteras här den årliga marginalproduktionsmixen. Marginalproduktionsmixen, här definierad som den totala driftmarginalen under ett år, för år 2020 består framför allt av fossila bränslen såsom olja, kol, torv och naturgas samt av biobaserade bränslen såsom biomassa, biogas och bioolja. Övriga bränslen har försvinnande små andelar i den totala mixen men bidrar ändå under vissa timmar på året. Den procentuella fördelningen mellan olika marginalproduktionsslag för 2020 ses i Figur 5. Observera att marginalproduktionen för 2020 är samma för samtliga fyra scenarier.



**Figur 5 Marginalproduktionsmix år 2020. Bilden visar den procentuella fördelningen mellan olika marginalproduktionstekniker under hela år 2020. Denna mix gäller för 2020 i samtliga elscenarier.**

Efter 2020 ändras den årliga marginalproduktionsmixen något, vilket ses i Figur 6. För 2025 är naturgas fortfarande på marginalen i samtliga fyra scenarier, men kanske framför allt i *Mycket konservativt* och *Konservativt*. *Klimatneutralt Norden* och *Ambitiöst Europa* uppvisar en högre andel biomassa än de övriga under de två första modellåren. Därefter har *Ambitiöst Europa* en mycket hög andel kärnkraft på marginalen. Detta beror i stor utsträckning på en stor utnyttjandegrad för biomassa för att minska koldioxidutsläppen genom koldioxidinlagring (*bio-energy with carbon capture and storage, BECCS*) vilket i sin tur gör att det finns mindre utrymme för biomassa på marginalen. Vidare varierar bidraget från vindkraften mellan åren, detta beroende på om en förändrad elanvändning kan innebära att man kan undvika effektreduktioner (*curtailment*) av framförallt den havsbaserade vindkraften. Den landbaserade vindkraften och solkraft har ett mycket litet bidrag till marginalproduktionen då den i hög utsträckning inte är föremål för effektreduktioner. Vattenkraften hålls på en konstant nivå och påverkar inte marginalmixen mycket. Utöver de marginalproduktionstekniker som kan ses i figuren kommer efterfrågefleksibilitet, bland annat från elanvändningen i industri och för produktion av elektrobränslen, i hög utsträckning att kunna kompensera för kortsiktiga förändringar i elanvändning. Den här effekten blir än mer påtaglig över tid och i *Klimatneutralt Norden* och *Ambitiöst Europa*.

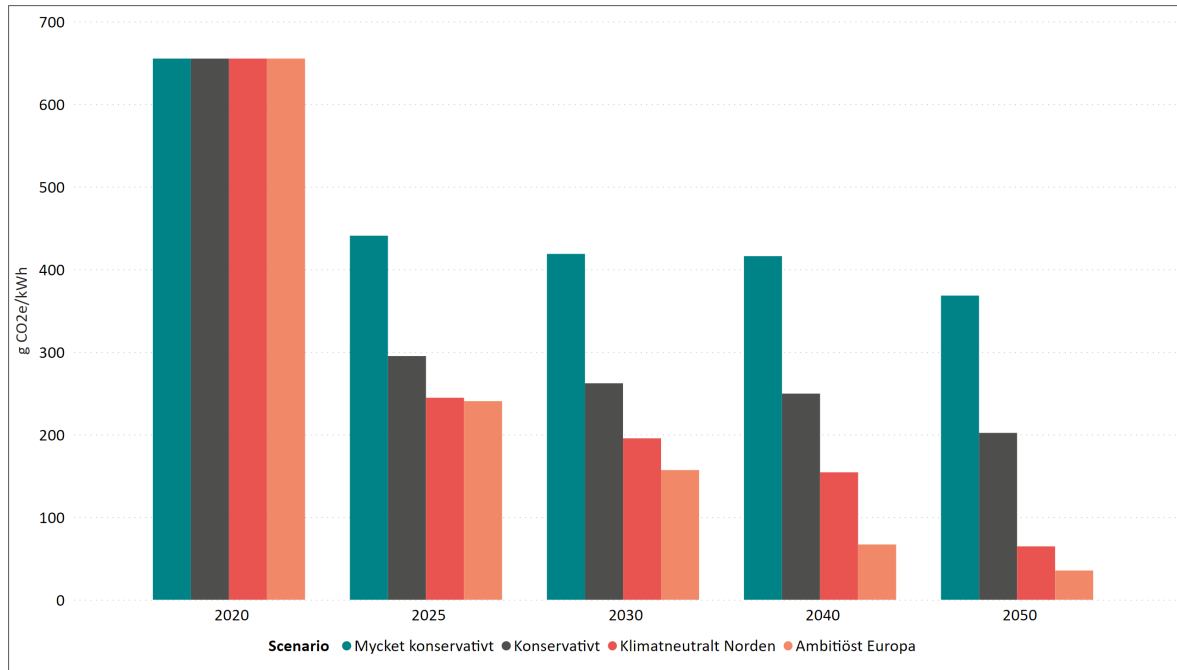




**Figur 6** Marginalproduktionsmix 2025 - 2050 i respektive scenario. Figuren visar den procentuella fördelningen mellan olika marginalproduktionstekniker under ett helt år. Negativa värden innebär att det sker en nedreglering på marginalen.

## Emissionsfaktorer elanvändning

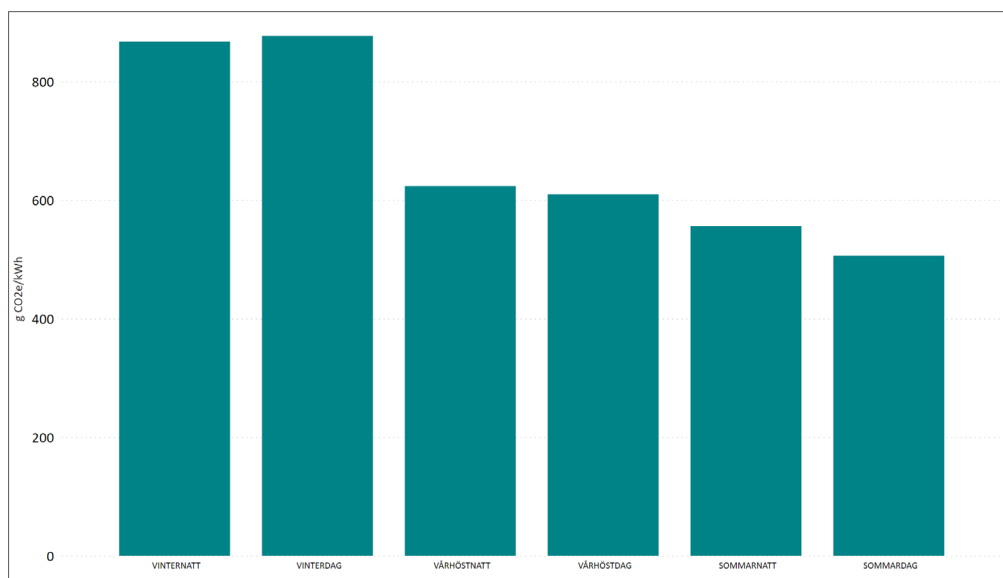
Utifrån den timvisa marginaelproduktionen beräknades timvisa emissionsprofiler för elanvändning för respektive år och scenario. Dessa inkluderar också förluster vid distributionen ut till slutanvändaren. En förenklad bild av denna visas i Figur 7. I figuren illustreras det genomsnittliga klimatavtrycket, i gram koldioxidekvivalenter per använd kilowattimme (g CO<sub>2</sub>e/kWh) för respektive modellår och scenario. Som man kan se är den genomsnittliga klimatpåverkan från elen i *Ambitiöst Europa* minst och störst är den i *Mycket konservativt*.



**Figur 7** Det genomsnittliga koldioxidavtrycket per använd kWh el (g CO<sub>2</sub>e/kWh) för respektive år och scenario

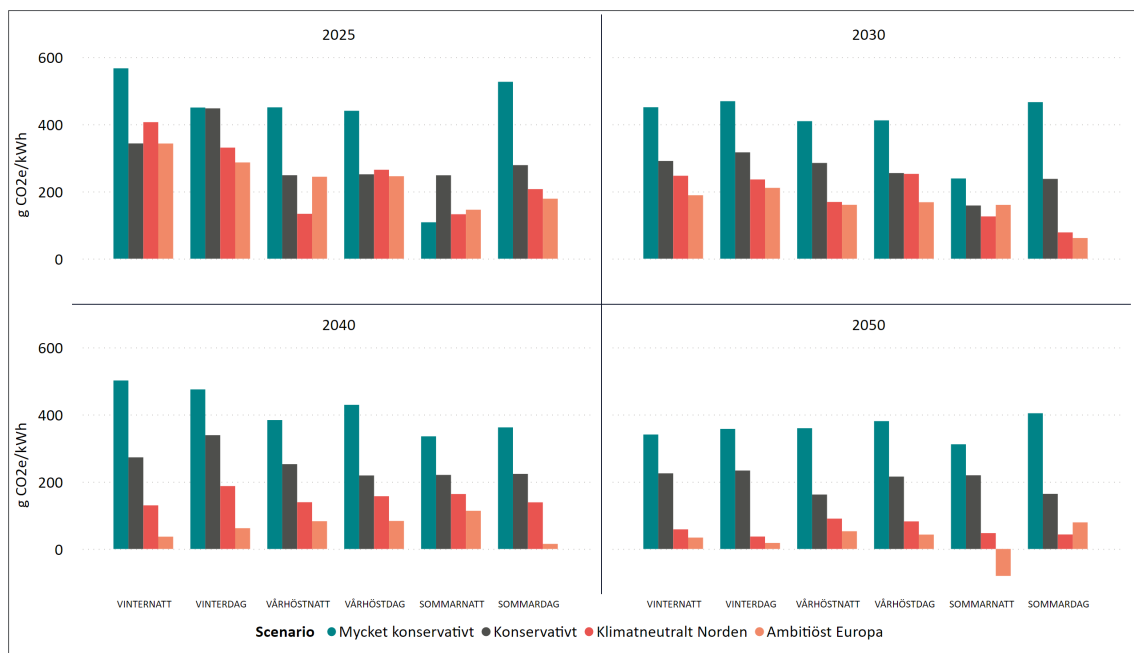
För att få en bättre förståelse för hur marginalelproduktionen, och med den också marginalelens klimatpåverkan, varierar under året och dygnet redovisas här också det genomsnittliga koldioxidavtrycket för olika tidssteg. Observera dock att det är timupplöst data, där emissionsfaktorn för el varierar för varje timme, som används i metoden och verktyget Tidstegen.

För 2020 är det framför allt stor skillnad i klimatpåverkan från marginalelen under vintern jämfört med sommaren, se Figur 8.



**Figur 8** Genomsnittligt koldioxidavtrycket (g CO<sub>2</sub>e/kWh) per tidssteg för marginalelen år 2020. Observera att de fyra elscenarierna är identiska år 2020.

För år 2025 och framåt ser man en minskning i klimatpåverkan från marginaleden i alla scenarion, men hur stor denna minskning är skiljer sig åt både per scenario och tidsteg (se Figur 9). Jämför man med marginaledens klimatpåverkan år 2020 med framtida marginaled, återfinns inte riktigt samma mönster för skillnaderna i klimatpåverkan mellan exempelvis sommar och vinter. Det är generellt sett svårt att se några mönster mellan natt och dag eller mellan årstider desto längre fram i tiden vi kommer.



Figur 9 Genomsnittligt koldioxidavtryck (g CO<sub>2</sub>e/kWh) per år, tidssteg och scenario för marginaleden. För scenariot *Ambitiöst Europa* uppkommer negativa värden för klimatpåverkan år 2050, detta är en följd av att elproduktion med högre klimatpåverkan i stor utsträckning ersätts med elproduktion med betydligt lägre klimatpåverkan på marginalen.

### 3. Klimatbedömning fjärrvärme och fjärrkyla

I Tidstegen-metodens beräkningsgång används emissionsfaktorer kopplade till de bränslen som används i marginalproduktionen för värme och kyla. Under Tidstegen 5 uppdaterades emissionsfaktorerna för olika bränslen i verktyget, och därtill tillkom några bränslen, se Tabell 7. Vid uppdateringen av emissionsfaktorerna användes omräkningsfaktorer för koldioxid (1), metan (29,8) och lustgas (273) vilket motsvarar de 100-årsvärden för *Global Warming Potential* (GWP) som används av IPCC AR6. För klimatpåverkan vid produktion och distribution av olika bränslen har värden från Miljöfaktaboken [13] i stor utsträckning använts. För utsläpp vid användning av bränslena, det vill säga de direkta utsläppen vid stationär förbränning, används framför allt Naturvårdsverkets emissionsfaktorer som används vid utsläppsrapporteringen till UNFCCC [14]. Antaganden som har gjorts för respektive bränsle redovisas i tabellen.

**Tabell 7 Emissionsfaktorer för de bränslen som används i verktyget Tidstegen**

Bränsle	Emissionsfaktor 2022, g CO <sub>2</sub> e/kWhbränsle	Källor		Antaganden
		Produktion och Distribution	Användning	
Stenkol	391	Miljöfaktaboken	Naturvårdsverket	
EO1	290	Miljöfaktaboken	Naturvårdsverket	
EO2-EO5	297	Miljöfaktaboken	Naturvårdsverket	
Naturgas	249	Miljöfaktaboken	Naturvårdsverket	
Industriell spillvärme	0			Restprodukt
Avfall, svenskt (minskad bortkyld värme)	0	IVL rapport B2282		Scenarier för hur den alternativa användningen av avfallet ser ut
Avfall, importerat (minskad elproduktion)	71	IVL rapport B2282		
Avfall, importerat (minskad deponering)	-46	IVL rapport B2282		
Deponi- och rötgas	14	Miljöfaktaboken	Naturvårdsverket	Biogas från avloppsreningsslam
Avfallsgas från stålindustrin	0			Restprodukt
Primära trädbänslen	36	Miljöfaktaboken	Naturvårdsverket	Framförallt salix
Sekundära trädbänslen	11	Miljöfaktaboken	Naturvårdsverket	GROT
RT-flis	7	Miljöfaktaboken	Naturvårdsverket	Papper-trä-plast för Produktion & Distribution
Pellets, briketter och pulver	20	Miljöfaktaboken	Naturvårdsverket	
Bioolja	4	Miljöfaktaboken	Naturvårdsverket	Stor andel organiskt
Tallbeckolja	4	Miljöfaktaboken	Naturvårdsverket	Stor andel organiskt
HVO (slaktavfall)	114	IVL rapport B2398		
HVO (använd matolja)	43	IVL rapport B2398		
HVO (rapolja)	220	IVL rapport B2398		
HVO (tallolja)	20	IVL rapport B2398		
RME	96	IVL rapport B2398		



Biogas	22	IVL rapport B2398	Naturvårdsverket	
Övriga biobränslen	39	Miljöfaktaboken	Naturvårdsverket	
Torv	418	IVL rapport B2398		
Köpt hetvatten	297			Samma som EO2-EO5
Solvärme	51	Miljöfaktaboken		
Returbränsle	115			Bygg- och rivningsavfall med en emissionsfaktor på 80% av hushållsavfall

## Referenser

1. Hagberg, M., et al., *Miljövärdering av energilösningar i byggnader (etapp 2)*. 2017, IVL Svenska Miljöinstitutet.
2. Ekvall, T., *Miljöbedömning av energibärare-vägledning för livscykelanalyser*. 2018, IVL Svenska Miljöinstitutet.
3. Wråke, M., et al., *Nordic Clean Energy Scenarios - Solutions for Carbon Neutrality*. 2021, Nordic Energy Research: <http://doi.org/10.6027/NER2021-01>.
4. NEPP, *Insikter och vägval i energiomställningen - slutrapport från NEPP:s andra etapp, december 2020*. 2020.
5. Svenska Kraftnät, *Långsiktig marknadsanalys 2021 - Scenarier för elsystemets utveckling fram till 2050*. 2021: <https://www.svk.se/siteassets/om-oss/rapporter/2021/langsiktig-marknadsanalys-2021.pdf>.
6. Energimyndigheten, *Marginal elproduktion och CO2 i elsystemet*. 2002: <https://energimyndigheten.a-w2m.se/FolderContents.mvc/Download?ResourceId=103787>.
7. Wiese, F., et al., *Balmore open source energy system model*. Energy Strategy Reviews, 2018. **20**: p. 26-34.
8. IEA, *World Energy Outlook 2020*. 2020: Paris <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020>.
9. Energimyndigheten, *Nationell strategi för en hållbar vindkraft*. 2021: [http://www.energimyndigheten.se/globalassets/fornybart/strategi-for-hallbar-vindkraftsutbyggnad/er-2021\\_02.pdf](http://www.energimyndigheten.se/globalassets/fornybart/strategi-for-hallbar-vindkraftsutbyggnad/er-2021_02.pdf).
10. Svenska Kraftnät, *Kortsiktig marknadsanalys 2020*. 2020: <https://www.svk.se/siteassets/om-oss/rapporter/2020/kortsiktig-marknadsanalys-2020.pdf>.
11. European Commission, *In-depth analysis in support of the Commission communication COM(2018) 773 - A Clean Planet for all - A European long-term strategic vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy* E. Commission, Editor. 2018, European Commission.
12. SMHI. *Året 2014 - Rekordhög Sverigemedeltemperatur*. 2015 2017-08-23 2022-05-03].
13. Gode, J., et al., *Miljöfaktaboken 2011 - Uppskattade emissionsfaktorer för bränslen, el, värme och transporter 2011*: <https://energiforskmedia.blob.core.windows.net/media/17907/miljoefaktaboken-2011-vaermeforskrapport-1183.pdf>.
14. Naturvårdsverket and Svenska MiljöEmissionsData, *Emissionsfaktorer och värmevärden submission 2022*, S.M. Naturvårdsverket, Editor. 2021: <https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/luft-och-klimat/berakna-klimatpaverkan/berakna-direkta-utslapp-fran-forbranning/>.



