



Mjuklänkning mellan EMEC
och TIMES-Sweden
– en metod för att förbättra energipolitiska underlag

Charlotte Berg
Anna Krook-Riekkola
Erik Ahlgren
Patrik Söderholm

KONJUNKTURINSTITUTET gör analyser och prognoser över den svenska ekonomin samt bedriver forskning i anslutning till detta. Konjunkturinstitutet är en statlig myndighet under Finansdepartementet och finansieras till största delen med statsanslag. I likhet med andra myndigheter har Konjunkturinstitutet en självständig ställning och svarar själv för bedömningar som redovisas.

Konjunkturläget innehåller analyser och prognoser över svensk och internationell ekonomi. **The Swedish Economy** sammanfattar rapporten på engelska.

Lönebildningsrapporten ger analyser av de samhällsekonomiska förutsättningarna för svensk lönebildning. Rapporten är årlig och sammanfattningen översätts till engelska.

I serien **Specialstudier** publiceras rapporter som härrör från utredningar eller andra uppdrag. I serien **Working Paper** publiceras forskningsresultat. Flertalet publikationer kan laddas ner från Konjunkturinstitutets hemsida, www.konj.se

Förord

Konjunkturinstitutet har tillsammans med Luleå tekniska universitetet och Chalmers tekniska högskola deltagit i det av Energimyndigheten finansierade projektet ”Energisystemmodellering och kopplingar mellan olika modelleringsperspektiv: EMEC - TIMES”. Projektet löpte under ett år och slutrapporterades till Energimyndigheten i september 2012. Denna Specialstudie är en omarbetad version av den slutrapport som skickades till Energimyndigheten. Rapporten har utarbetats av Charlotte Berg vid Konjunkturinstitutet, Anna Krook-Riekkola vid Luleå tekniska universitet, Erik Ahlgren vid Chalmers tekniska högskola och Patrik vid Söderholm Luleå tekniska universitet.

Mats Dillén
Generaldirektör
Stockholm i december 2012

Innehåll

1	Syfte och målsättning.....	7
2	Val av länkingsansats.....	8
3	Steg för att nå fram till en mjuklänkning.....	11
4	Modellbeskrivningar.....	12
4.1	EMEC.....	12
4.2	TIMES-Sweden.....	15
5	Steg 1 – Identifiera grundläggande skillnader.....	19
6	Steg 2 – Definiera gemensamma exogena parametrar.....	21
6.1	Energi priser.....	21
6.2	Styrmedel.....	21
7	Steg 3 – Överlappande domän.....	23
7.1	Industrisektorn.....	25
7.2	Areella näringar.....	26
7.3	Tjänstesektorn.....	26
7.4	Energiomvandlingssektorn.....	29
8	Steg 4 – Mellanledsmodell.....	30
8.1	Energiintensiva industrisektorer.....	30
8.2	Övriga industribranscher och de areella näringarna.....	32
8.3	Uppvärmning av lokaler.....	33
8.4	Driftsel i tjänstebranscherna.....	34
8.5	Godstransporter.....	34
8.6	Kollektiva persontransporter.....	35
8.7	Hushållens biltransporter.....	35
8.8	Uppvärmning av bostäder.....	36
9	Steg 5 – Kalibrering av ett referensscenario.....	37
9.1	Iterativa processen.....	37
9.2	Utfall från iterationsprocessen.....	38
10	Steg 6 – Policyanalys illustrerat av ett Klimatscenario.....	45
10.1	Iterativa processen.....	45
10.2	Utfall från iterationsprocessen.....	46
11	Diskussion, slutsatser och fortsatt arbete.....	54
12	Referenser.....	57
13	Bilaga A Litteraturgenomgång.....	59
13.1	Mjuklänkning.....	59
13.2	Hårdlänkning.....	63
14	Bilaga B EMEC.....	66
15	Bilaga C TIMES.....	71

1 Syfte och målsättning

Projektets övergripande mål har varit att utveckla en metod för hur modellerna TIMES-Sweden och EMEC kan samverka för att bidra till att förbättra energipolitiska beslutsunderlag. Denna metodik bygger på ett iterativt tillvägagångssätt och en aktiv forskarsamverkan. Den centrala forskningsfrågan är inte bara hur modellerna kan vidareutvecklas för att bli ännu bättre, utan hur en samverkan mellan modellerare och modeller kan bidra till att såväl kvalitativt som kvantitativt förbättra det beslutsunderlag som modellerna bidrar till.

Grundfilosofin har varit att få modellerna att samverka på ett transparent sätt samtidigt som respektive modells styrkor bibehålls. EMEC:s styrka är bland annat att den erbjuder en konsistent beskrivning av hur ekonomins olika sektorer interagerar med varandra medan TIMES styrka ligger i den tekniska beskrivningen av energisystemet och de viktiga interaktionerna inom energisystemet. Länkningen av modellerna ska sträva efter att vara konsistenta och transparenta, samt att bättre beskriva viktiga aspekter av energisystemet och dess interaktion med den övriga ekonomin.

Rapporten inleds med en diskussion om val av länkingsansats. Sedan redovisas i avsnitt 3 de övergripande steg som projektet har identifierat för att nå fram till en mjuklänkingsansats mellan modellerna. Avsnitt 4 beskriver de modeller som har mjuklänkats inom projektet: EMEC och TIMES-Sweden. De nästkommande avsnitten presenterar sedan resultaten från projektet enligt de sex steg som identifierats i avsnitt 3. Rapporten avslutas med en diskussion kring mjuklänkingsansatsens svagheter och styrkor samt hur metoden kan förfinas och hur det utvecklade mjuklänkingsförfarandet kan användas.

2 Val av länkingsansats

En vanlig distinktion av olika modelleringsstrategier för analys av frågor relaterade till energi-, ekonomi-, och miljö är den mellan ”top-down” (TD) och ”bottom-up” (BU). Den tidigare kategorin, TD, utgörs av modeller som fokuserar på samhällsekonomin som helhet och interaktionen mellan olika ekonomiska sektorer. I regel har TD-modeller endast en mycket aggregerad beskrivning av den tekniska uppbyggnaden av energisystemet. BU-modeller beskriver istället de olika teknikalternativen för att uppfylla en given efterfråga. Energisystemet beskrivs ingående i BU med en hög detaljeringsgrad gällande ingående tekniker och energiflöden men saknar generellt kopplingen mellan energisystemet och resten av samhällsekonomin. Det finns olika typer av TD-modeller, till de vanligare hör allmänjämviktsmodeller (”Computable General Equilibrium” – CGE) och Keynesianska makroekonomiska modeller. Det finns också olika typer av BU-modeller där vi avgränsar oss till dynamiska energisystem modeller som huvudsakligen bygger på optimering (och oftast kostnadsminimering genom linjärprogrammering). Det har gjorts ett antal ansatser att kombinera, eller länka, en tekniskt explicit beskrivning av energisystemet (förknippad med BU) med en representation av samhällsekonomin som överensstämmer med ekonomisk teori (förknippad med TD).

Förenklat kan man säga att olika typer av hybridiserade angreppssätt antingen baseras på en mjuklänkning (”soft-linking”) eller en hårdlänkning (”hard-linking”) av BU respektive TD-relaterade modeller eller modellegenskaper. I bilaga A görs en genomgång av olika studier som är baserat på denna uppdelning.

Mjuklänkning innebär att en makroekonomisk TD-modell och en energisystemanalytisk BU-modell samkörs i en iterativ process till dess att konvergens i centrala parametrar uppnås (t.ex. pris- och kvantitetparametrar) (Kumbaroglu och Madlener, 2003). Mjuklänkning innebär att modellerna i stor utsträckning kan behålla sitt ursprungliga utförande, men som kritik mot ansatsen har framförts att det kan bli svårigheter att uppnå överensstämmelse mellan modellerna då skillnaderna i struktur och metodik ofta är stora (Böhringer och Rutherford, 2009).

Hårdlänkning å andra sidan innebär att BU- och TD-relaterade egenskaper i hög grad integreras i en och samma modell som löses i en samtidig optimering (till skillnad från mjuklänkningens iterativa processande av modellresultat). Detta innebär inte sällan att en förenklad beskrivning av antingen BU- eller TD-aspekterna i den integrerade modellen är nödvändig, vilket står i kontrast till mjuklänkning där också relativt storskaliga modeller i princip kan hållas intakta (t.ex. Bauer m.fl., 2007; Böhringer och Rutherford, 2009). Böhringer och Rutherford (2009) klassificerar olika hybridansatser i tre kategorier:

- 1) Sammankoppling av existerande storskaliga BU- och TD-modeller med mjuklänkning;
- 2) Komplettering av en av modelltyperna (BU eller TD) med en förenklad representation av den andra;
- 3) En direkt kombination av BU och TD-egenskaper genom specifikation av jämviktsmodeller som s.k. ”mixed complementary problems” (MCP – se Cottle och Pang, 1992; Rutherford, 1995).

Hourcade m.fl. (2006) urskiljer fyra huvudkategorier för framtidens hårdlänkade hybridmodeller som mer i detalj beskriver hur de tänker sig modellerna:

- 1) TD-modeller som avstår från den konventionella verktygslådan för makroekonomer, som t.ex. konstanta substitutionselasticiteter (CES) och autonoma energieffektivitetsindex (AEEI), utan förlitar sig på innovativa sätt att representera energiutbud och teknologier i enlighet med BU-analyser och teknikval och användning baserat på mikroekonomiska studier;

- 2) TD-modeller som ökar sin disaggregeringsnivå och använder Leontief produktionsfunktion (med konstanta förhållanden) i en förenklad BU-modul beskrivande någon del av energisystemet (t.ex. elsektorn eller transportsektorn);
- 3) BU-modeller som inkluderar estimerade mikroekonomiska parametrar relaterade till teknikval (funktioner som beskriver marknadsklarering för energi, andra inputvaror, och slutliga varor och tjänster baserat på förändringar i kostnaden för produktion, genom att antingen använda priselasticiteter eller mer avancerad allmän jämviktsmodellsteknik) och funktioner för att balansera statsbudget, valutakurser, och marknader för kapital och arbete;
- 4) En sammansatt hybridmodell som består av alla teoretiska och strukturella karakteristika från de mest avancerade TD-modellerna samtidigt som den också inkluderar tekniska detaljer i nivå med de mest avancerade BU-modellerna såväl som empiriskt estimerade beteendeparametrar – en modelltyp som emellertid innebär stora utmaningar.

Hårdlänkning innebär således att en av modelltyperna införs i en förenklad version och därmed blir antingen energisystemets detaljer förenklat eller den makroekonomiska bilden. En mjuklänkning däremot möjliggör att analysen drar nytta av båda modellernas fördelar, det vill säga resultaten tar hänsyn till allmänjämviktseffekter som uppstår vid policyanalysen i exempelvis EMEC samtidigt som modellen tar drar nytta av de tekniska detaljerna som finns i TIMES-Sweden. I valet mellan en hårdlänkning, där alla samband löses simultant, och en mjuklänkning, där de två modellerna löses separat men sammanbinds via en iterativ länk, har vi valt en mjuklänkning eftersom projektets mål är att i möjligaste mån behålla detaljrikedomen och de specifika fördelarna i respektive modell. Ytterligare en anledning att välja mjuklänkning är att hårdlänkning är mer komplext och arbetskrävande. Det går åt mer resurser till rent modellerings tekniskt arbete som kanske inte alltid ökar förståelsen för hur modellerna kan användas för att förbättra energipolitiska beslutsunderlag. Ett mjuklänkingsförfarande innebär även att respektive modell körs av en kunnig och van modellerare som har kunskaper om de lokala förhållandena inom respektive område. Därmed kommer resultaten kritiskt granskas utifrån två synvinklar: en ekonomisk och en teknisk-naturvetenskaplig synvinkel. För Energimyndighetens prognosverksamhet innebär en formaliserad mjuklänkning att resultaten från modellerna blir mer konsistenta med varandra. I dagsläget producerar Konjunkturinstitutet ett ekonomiskt referensscenario till Energimyndighetens långsiktsprogno som baseras på analys med EMEC-modellen. Detta referensscenario avbildar en konsistent bild av ekonomin i slut- och startår. Alla resurser används och jämvikt råder på alla marknader inklusive energimarknaden. Energimyndigheten använder sedan främst tillväxttakterna för olika branscher och sektorer i ekonomin, det vill säga olika branschernas tillväxttal, utvecklingen av privat och offentlig konsumtion samt investeringar. Energimyndigheten använder dock inte resultaten från EMEC gällande utbud och efterfråga på energi. Istället gör Energimyndigheten en prognos över energianvändningen utifrån den ekonomiska bilden som EMEC har målat upp. Detta överensstämmer nödvändigtvis inte med den bild av energiutbud och efterfråga som ges av den ursprungliga EMEC-körningen. Detta innebär att Energimyndighetens bild av ekonomin och energisystemet med största sannolikhet inte är konsistenta med varandra. Om exempelvis Energimyndighetens slutliga prognosbild är att energianvändningen blir betydligt lägre än vad EMEC-resultaten påvisat innebär detta att inte lika mycket resurser behövs vid produktion av energi relativt den ursprungliga energistrukturen. Dessa resurser kan istället användas av andra producenter i ekonomin vilket förmodligen skulle ge en ny strukturell bild, som i sin tur skulle ge en annan prognosbild för energisystemet vid en ny prognosomgång hos Energimyndigheten. För Energimyndighetens prognosverksamhet bör det därför vara intressant att använda sig av ett iterativt förfarande mellan de två modelltyperna för att minimera skillnaderna mellan modellresultaten.

Vi har identifierat följande fördelar med en mjuklänkning mellan EMEC och TIMES-Sweden:

- Ger en konsistent bild av ekonomin och energisystemet.
- Den teoretiska basen för den makroekonomiska strukturen och ekonomiska beteendet är i stort sätt oförändrat.
- Den tekniska detaljeringsnivån består.
- Teknikutveckling beskrivs bättre i jämförelse med en allmänjämviktsmodell.
- Ger ett transparent förfarande i allmänhet och specifikt kring antaganden om efterfrågan av energitjänster
- Öppnar upp för nya och förbättrade möjligheter att studera policypaket gällande reglering och miljöskatter.

3 Steg för att nå fram till en mjuklänkning

Utifrån litteraturgenomgången som redovisas i bilaga A, samt genom intensiva diskussioner inom forskargruppen, har vi identifierat de steg som krävs för att nå fram till en mjuklänkning mellan modellerna EMEC och TIMES-Sweden. Det är främst Wene (1996) och Labandeira m.fl. (2009) som har inspirerat vår mjuklänkingsansats. Wenes initiala rekommendation är att identifiera ett gemensamt formaliserat språk, det vill säga att modelleraren medvetandegör skillnader och likheter mellan de båda modellansatserna så att resultat från en modell kan jämföras och om önskvärt inkorporeras i den andra modellen. Detta inkluderar relativt basala skillnader så som olikheter gällande enheter (kWh eller kr) samt mer omfattande skillnader så som vad som inkluderas i olika begrepp och modellansatser. Vidare anser Wene att det metodmässigt måste klargöras hur modellresultat kan översättas från den ena modellens språkbruk till den andras (en översättningsansats för att nå det gemensamma språket) samt att gemensamma mätpunkter (common measuring points) måste identifieras innan det iterativa förfarandet mellan modellerna kan påbörjas.

Nedan följer de steg vi har följt för att nå fram till en mjuklänkning mellan EMEC och TIMES-Sweden:

- Steg 1 - Identifiera grundläggande skillnader mellan modellerna.
- Steg 2 - Identifiera exogena variabler i de båda modellerna samt bestämma vilka gemensamma antaganden som ska gälla för dessa. Exempelvis ränta, befolkningsutveckling, produktivitetsutveckling, energipolitik etc.
- Steg 3 - Identifiera överlappande modelldomän, det vill säga identifiera hur modellernas bransch- och sektorsuppdelning ser ut och verifiera hur dessa olika uppdelningar hänger ihop Vilken modell ska vara styrande, med andra ord vilken modell ska anpassa sig till den andra när det finns överlappning mellan modellernas endogena variabler?
- Steg 4 - Definiera hur modellresultat ska översättas mellan modellerna och därmed identifiera hur modellerna ska ”prata med varandra”.
- Steg 5 - Kalibrera av ett referensscenario. Identifiera en iterationsprocess mellan modellerna i referensscenariot.
- Steg 6 - Policyanalys. Identifiera en iterationsprocess mellan modellerna i alternativscenarier.

I följande avsnitt beskrivs först respektive modell varpå mjuklänkingsarbetet mellan EMEC och TIMES-Sweden beskrivs med hjälp av ovanstående steg.

4 Modellbeskrivningar

Innan skillnaderna identifieras följer nedan en beskrivning av de båda modellerna, EMEC och TIMES-Sweden, så som de ser ut idag samt de förändringar som gjorts för att möjliggöra mjuklänkningsen.

4.1 EMEC

EMEC (Environmental Medium term Economic model) är Konjunkturinstitutets allmänjämviktsmodell som under drygt 10 års tid kontinuerligt utvecklats och använts i utredningssammanhang. Modellen lämpar sig särskilt väl för att studera effekter på den ekonomiska tillväxten och på strukturomvandling av miljöpolitiska styrmedel som syftar till att begränsa luftföroreningar, t.ex. koldioxidskatt, eller handel med utsläppsrätter. För en detaljerad modellbeskrivning se Östblom och Berg (2006).

Modellen är en långsiktig statisk modell vilket innebär att anpassningsförloppet mellan jämviktslägena inte modelleras. Att ekonomin anpassar sig till en ny jämvikt antas vara en acceptabel förutsättning på 10-15 års sikt. Hur stora de långsiktiga förändringarna blir vid en given prisförändring beror på aktörernas känslighet för prisförändringar som representeras av modellens olika elasticiteter. Kraftiga pris- eller skatteökningar kan naturligtvis skapa betydande anpassningssvårigheter vilket på kort sikt kan ge lägre tillväxt och högre arbetslöshet i vissa branscher. Dessa omställningseffekter fångas inte upp av modellen utan resultaten speglar ekonomin på längre sikt, dvs. när arbetskraften och företagen helt har anpassat sig till de nya prisförhållandena. Den ekonomiska tillväxt som genereras i EMEC styrs dels av tillgången på produktionsfaktorer såsom arbetskraft och kapital, dels av teknisk utveckling (energi-, arbets- och kapitalproduktivitetförändringar) som ges exogent.

Det är möjligt att låta begränsningar för miljöutsläpp, såsom exempelvis det nationella utsläppsmålet för koldioxid, inverka på tillväxtens inriktning. Detta kan ske genom att införa utsläppstak eller genom att handeln med utsläppsrättigheter avbildas i modellen. Eftersom EMEC är en allmänjämviktsmodell kan den fånga upp de återverkningar som sker mellan olika sektorer vid t.ex. en skatteförändring och inte bara den direkta påverkan i de berörda sektorerna. Jämfört med partiella modeller fångas därmed de totala samhällsekonomiska konsekvenserna upp på ett mer fullständigt sätt i allmänna jämviktsmodeller.

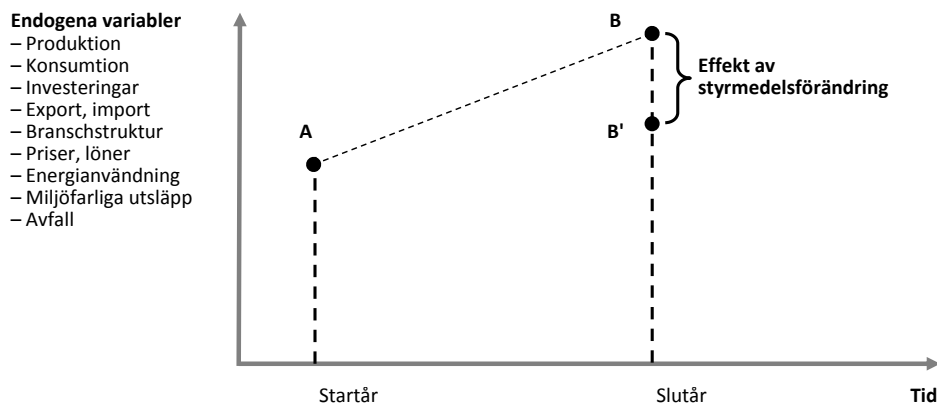
EMEC inkluderar 26 näringslivsbranscher, varav 3 energiproducerande branscher, och en offentlig sektor. Företagen och hushållen efterfrågar 33 varor och tjänster som insatsvaror samt för investeringar och privat konsumtion (varav 6 energibärare). Varor och tjänster används som insats även i den offentliga tjänsteproduktionen. Arbetskraft, material och energi och realkapital är ytterligare insatsfaktorer som krävs i näringslivet och den offentliga sektorn. Hushållens konsumtion och näringslivets aktivitet medför föroreningar och modellen avbildar utsläpp av koldioxid, svaveldioxid och kväveoxider samt partiklar (PM 10 och PM 2.5) från stationära och mobila utsläppskällor, men även utsläpp från industriprocesser. Hushållens och företagens användning av energi är belagd med energiskatt och miljöskatter (koldioxidskatt och svavelskatt). I modellen kan aktörerna påverka koldioxidutsläppen genom att byta till bränsle med lägre kolinnehåll (t.ex. substitution från kol till naturgas) eller till icke-fossila bränslen (biobränslen och el), lägga om produktionen så att mindre energi krävs per producerad enhet eller helt enkelt minska produktionen. De branscher som tillhör EU:s utsläppshandelssystem EU ETS köper utsläppsrätter till ett exogent givet utsläppsrättspris. Modellen har en offentlig sektor och följande näringslivsbranscher: 1) Jordbruk, 2) Fiske, 3) Skogsbruk, 4) Gruvor och mineralbrott, 5) Annan tillverkningsindustri, 6) Cement industri, 7) Massa-, pappers- och grafisk industri, 8) Läke-

medelsindustri, 9) Kemisk industri, 10) Järn- och stål industri, 11) Övrig metallindustri, 12) Verkstadsindustri, 13) Petroleumraffinaderier, 14) El sektor, 15) Fjärrvärmesektor, 16) Gasverk, 17) Vatten- och avloppsverk, 18) Byggnadsindustri, 19) Järnvägstransporter, 20) Godstransport på väg, 21) Persontransport på väg, 22) Sjötransporter, 23) Lufttransporter, 24) Övriga transporter, 25) Tjänster, 26) Bostads- och fastighetsförvaltning. Bilaga B ger en komplett bild av definitionen av branscher, varor och hushåll i EMEC.

Simuleringar i EMEC relateras till ett referensscenario som oftast baseras på resultat från den senaste utgivna Långtidsutredningen och som skall spegla utvecklingen av svensk ekonomi på lång sikt. Detta scenario är dock inte en prognos över framtiden utan en möjlig utvecklingsbana givet de antaganden som görs om utvecklingen av produktivitet, arbetsutbud, energieffektivisering, och omvärldens utveckling. Simuleringen innehåller information om utvecklingen för respektive policyscenario i relation till referensscenariot för ekonomin som helhet och olika sektorer. Exempel på mått som kan redovisas för olika policyscenarier är produktion, sysselsättning och utsläpp för olika branscher och ekonomin som helhet. Resultaten redovisas som årlig procentuell förändring för respektive policyscenario och referensscenariot. Innan olika scenarier simuleras kalibreras modellen vilket innebär att kalibreringskonstanter anpassas så att modellen återskapar den ekonomiska situationen för startåret. Detta görs i syfte att säkerställa en korrekt avbildning av ekonomin.

Figur 1 nedan illustrerar analysen. Punkten A anger situationen vid startåret och punkten B anger situationen vid slutåret om ingen policy ändras eller införs. Punkt B' anger den situation som uppstår om något styrmedel införs eller ändras och det är alltså skillnaden mellan B och B' som är simuleringens resultat. Resultatet kan sedan beskrivas i termer av förändringar i modellens endogena variabler.

Figur 1 Stiliserad modellanalys



Utformningen av referensscenariot kan påverka modellresultaten i den bemärkelsen att t.ex. kostnadsnivån för att uppnå ett koldioxidmål bestäms (delvis) av hur mycket utsläppen måste minska i förhållande till referensscenariot. En hög utsläppsnivå i referensscenariot innebär att utsläppsnivån jämfört med referensscenariot måste minska mer för att nå utsläppsmålet än med ett referensscenario med låg utsläppsnivå i slutåret. Detta kommer att påverka hur mycket ekonomin behöver styras och därmed nivån på koldioxidskatten och slutligen de samhällsekonomiska kostnaderna. Kostnadsnivån är således betingad av referensscenariot, men de kvalitativa resultaten är relativt robusta. Vid utformningen av olika scenarier är det viktigt att välja scenariostruktur så att modellen på bästa sätt visar den samhällsekonomiska effekten av de styrmedel som analyseras. Om man vill kunna analysera effekten av enskilda styrmedel är det därför viktigt att inte skapa ”paket” av styrmedel eftersom det då blir svårt att koppla effekter till enskilda styrmedel.

Kortfattat kan fördelar och nackdelar med EMEC-modellen presenteras i nedanstående punkter.

Fördelar:

- Konsistent bild av ekonomin
- Tar hänsyn till återkopplingseffekter i hela ekonomin
- Stark koppling till ekonomisk teori
- Möjligt att analysera "second-best" problem
- Kvantifierar resultaten från ekonomisk teori
- Jämförbarhet mellan analyser
- Relativt många branscher inom näringslivet
- Kan studera sysselsättningseffekter på lång sikt
- Kan studera fördelningseffekter på lång sikt

Nackdelar:

- Beskriver den underliggande strukturella utvecklingen (jämvikts BNP etc. som inte är observerbara data), vilket är svårt att verifiera i data.
- Grov branschbeskrivning samt representativa företag och hushåll
- Saknar endogen teknisk utveckling
- Alla parametrar kan inte estimeras, utan kalibreras mot basåret eller ansätts.

FÖRÄNDRINGAR INFÖR MJUKLÄNKNINGEN

För att möjliggöra en mjuklänkning mellan TIMES-Sweden och EMEC har vissa förändringar gjorts i EMEC-modellen. I branschernas produktionsfunktion införs Leontieffunktioner för energianvändningen istället för CES-funktion, det vill säga den mix av energi som används i en bransch påverkas inte längre av relativprisförändringar utan andelarna är givna. Dessa andelar är i den första körningen sådan att den motsvarar basårets energiandelar. I iterationsprocessen kommer denna energimix att häröra från TIMES-Swedens resultat.

På samma sätt har vi även justerat hushållens nyttofunktion gällande energi till uppvärmning. Även för hushållen kommer andelarna av de olika energislagen vara konstant och därmed antas en Leontief-nyttofunktion för olika energislagen. Energimixen justeras i iterationsprocessen utifrån TIMES-Sweden.

Vi har valt att göra denna restriktion för substitutionsmöjligheterna i EMEC eftersom energianvändningen är en parameter som är endogen i båda modellerna och mjuklänkningen skulle försvåras avsevärt om energimixen ska justeras med hjälp av energi-effektiviseringsparametrar för varje bränsle i varje bransch.

4.2 TIMES-Sweden

TIMES-Sweden är en TIMES baserad modell som delar struktur med Pan European TIMES-modellen (PET-modellen). PET-modellen utvecklades inom två olika EU-finansierade projekt, NEEDS och RES2020, och finns dokumenterad på RES2020 hemsida¹. TIMES är ett modellverktyg utvecklad av den energisystemanalytiska forskarmiljön kring ETSAP². TIMES är teknikdetaljerade optimeringsmodeller som minimerar kostnaden för att möta en given efterfråga under definierade randvillkor/begränsningar. Efterfrågan är definierad som tjänster, ”energy services” och kan vara allt från nyttiggjord energi för uppvärmning i ett rum i PJ, personkilometer i lokaltrafiken till miljoner ton aluminium. Randvillkor kan till exempel vara begränsad tillgång på biobränsle eller en koldioxidbegränsning. I en TIMES-modell beräknas en partiell jämvikt på energimarknaden. Vid denna jämvikt produceras exakt så mycket som konsumenterna är villiga att köpa och det totala överskottet (konsument- plus producentöverskott) är maximerat. Det här jämviktsvillkoret är närvarande vid varje del av energisystemet och beräknas med hjälp av linjärprogrammering (LP). TIMES-modeller utgår från att det råder fullständig konkurrens och perfekt information på energimarknaden. Detta innebär att aktörerna har fullständig kunskap om den rådande och den framtida utvecklingen av olika parametrar och därmed kan TIMES-modellen beräkna den optimala lösningen för samtliga tidsperioder.

TIMES-modeller inkluderar både teknikrelaterade variabler och flödesrelaterade variabler, vilket innebär att det är lättare att skapa mer flexibla processer och begränsningar. Tekniker och processer är beskrivna med hjälp av ett antal tekniska och ekonomiska parametrar. Varje teknik är explicit identifierad och särskild från alla andra tekniker i modellen. Detta underlättar beskrivningen av användarsidan vilken ofta är mer ”flödesintensiv”, dvs består av flera processteg med olika inputs och outputs. Den totala energianvändningen kan förändras både till kvantitet och till energimix om en process byts ut mot en annan även om den slutliga mängden vara/tjänst är densamma. Figur 2 illustrerar hur cementindustrin, en energiintensiv användarsektor, kan modelleras i TIMES. Efterfrågan på cement (miljoner ton) ges exogen till modellen. Valet av olika energibärare för att möta efterfrågan av cement beräknas endogen i modellen utifrån antagna tekno-ekonomiska variabler för de definierade processerna (som representerar dagens tekniker liksom framtida alternativa tekniker).

Andra energiintensiva industrier, såsom järn- och stålindustrin och papper- och massaindustrin, har en liknande men betydligt mer komplex uppbyggnad i TIMES-Sweden (liksom i PET-modellen). Övriga användarsektorer – bostad, service, transport och jordbruk – modelleras också utifrån likartade principer. Utgångspunkten är efterfrågan på olika energitjänster; varma rum (m²), kollektivtrafik (antal passagerare) etc. Existerande efterfrågetjänster finns angivna i bilaga C och det finns möjlighet att inkludera nya efterfrågetjänster om behov och motiv finns. Utifrån dessa, och givet de olika produktionsteknologierna, modelleras efterfrågan på olika energibärare (Loulou m.fl., 2005).

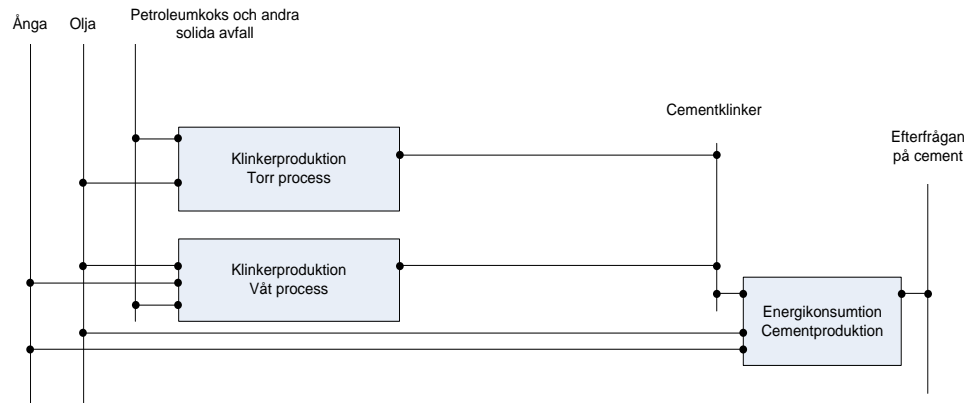
TIMES-modellen är konstruerad på ett sådant sätt att antalet teknologier och deras relativa struktur förändras helt och hållet av den datamängd som ges till modellen, utan att ändra modellekvationer. Med andra ord är modellen i stor utsträckning data-driven vilket implicerar att olika delar av energisystemet kan modelleras i än större detalj genom att bygga ut databasen för önskvärda sektorer. Modelleringen av energi-användningen i processer är en fördel då olika styrmedel för energieffektivisering ska studeras genom att efterfrågan på energi bestäms endogen och modellen explicit kan

¹ RES2020 hemsida uppdateras av The Centre for Renewable Energy Sources and Saving (CRES), Grekland: <http://www.cres.gr/res2020/index.htm>

² ETSAP är en förkortning för ”The Energy Technology Systems Analysis Program” och är ett av the International Energy Agency (IEA) så kallat ”Implementing Agreement”. www.iea-etsap.org

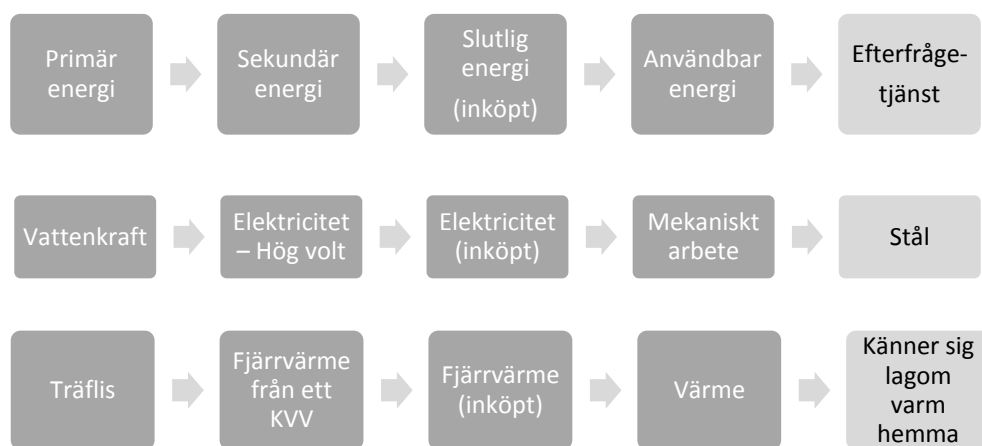
beskriva hur investeringar i olika energieffektiviserande åtgärder påverkas av förändrade incitament och/eller regleringar av olika slag.

Figur 2 Cementindustrin i PET-modellen



Energisystemmodeller som TIMES utgår från referensenergisystemet och modellerna inkluderar ofta hela energisystemet från primär energi till efterfrågetjänsten, se Figur 3. Detta skiljer sig från EMEC, liksom många andra modeller, som ofta slutar vid slutlig energianvändning, det vill säga den energi som köps av slutkonsumenten, vilken är enkel att mäta och motsvarar de rörliga kostnaderna konsumenterna har för sin energianvändning. Konsekvensen av att sluta vid slutlig energianvändning blir att energieffektivisering i slutanvändning inte kan modelleras. Energisystemmodeller går ofta längre och inkluderar omvandlingen av slutlig energi till användbar energi, till exempel konverteringen av biopellets till värme i bostadshus. För vissa segment fångar beskrivningen även in omvandlingen till slutlig produkt, till exempel stål. Energisystemmodeller fångar därmed även in alternativa metoder att omvandla den köpta energin.

Figur 3 Centrala energibegrepp använda inom energisystemanalys, primär energi, sekundär energi, slutlig energi, användbar energi respektive efterfrågetjänsten.



TIMES-Sweden inkluderar hela Sveriges energisystem strukturerade som 7 sektorer och mer än 80 olika efterfrågesegment. Sektorerna är Jordbruk (AGR), Hushåll och bostäder (RSD), Service och tjänstesektorn (COM), Transport (TRA), Industri (IND), Energiomvandlingssektorn (SUP) och El- och fjärrvärmesektorn (ELC). I jordbruk ingår även skog och fiske. Service och tjänstesektorn är fokuserad på lokaler och innefattar även offentlig verksamhet såsom sjukhus, idrottsanläggningar. De olika efterfrå-

gesegmenten i TIMES-Sweden och exempel på energibärare finns beskrivna i bilaga C. Valet av energibärare och industrisektorn är baserad på Eurostat och har därefter anpassats för att beskriva nödvändiga interaktioner. Figur 4 illustrerar översiktligt TIMES-modelleringen av hela energisystemet, såsom det ser ut inom ramen för den svenska versionen, TIMES-Sweden. I figuren är samtliga användargrupper specificerade; bostäder, kommersiell/offentlig verksamhet, jordbruk, industri och transport. Varje användargrupp är indelad i olika undergrupper (segment) varav figuren endast belyser ett fåtal. Det totala antalet undergrupper anges inom parentes, och dessa presenteras i sin helhet i bilaga C. Som framgår av bilaga C innehåller bostadsegmentet totalt 26 olika undergrupper inom en rad olika kategorier såsom matlagning, belysning, torkskåp, diskmaskiner, tvättmaskiner, varmvatten och uppvärmning i olika typer av bostäder.

Fördelar:

- Kan fånga upp resursbegränsningar, till exempel konkurrensen av biobränsle mellan el-, värme- och transportsektorn.
- Teknikdetaljerna möjliggör en analys av vilka teknikförändringar som måste till för att nå ett visst mål under givna förutsättningar. Resultatet är spårbart vilket bygger både på hur modellen är strukturerad och på mjukvaran.

Nackdelar:

- Ingen återkoppling till den övriga ekonomin (utanför energisektorn).
- Antar oändlig tillgång till kapital (stora investeringar kan ske under en kort tidsperiod).
- Ingen återkoppling mellan efterfrågetjänsten³ och prisnivå⁴.

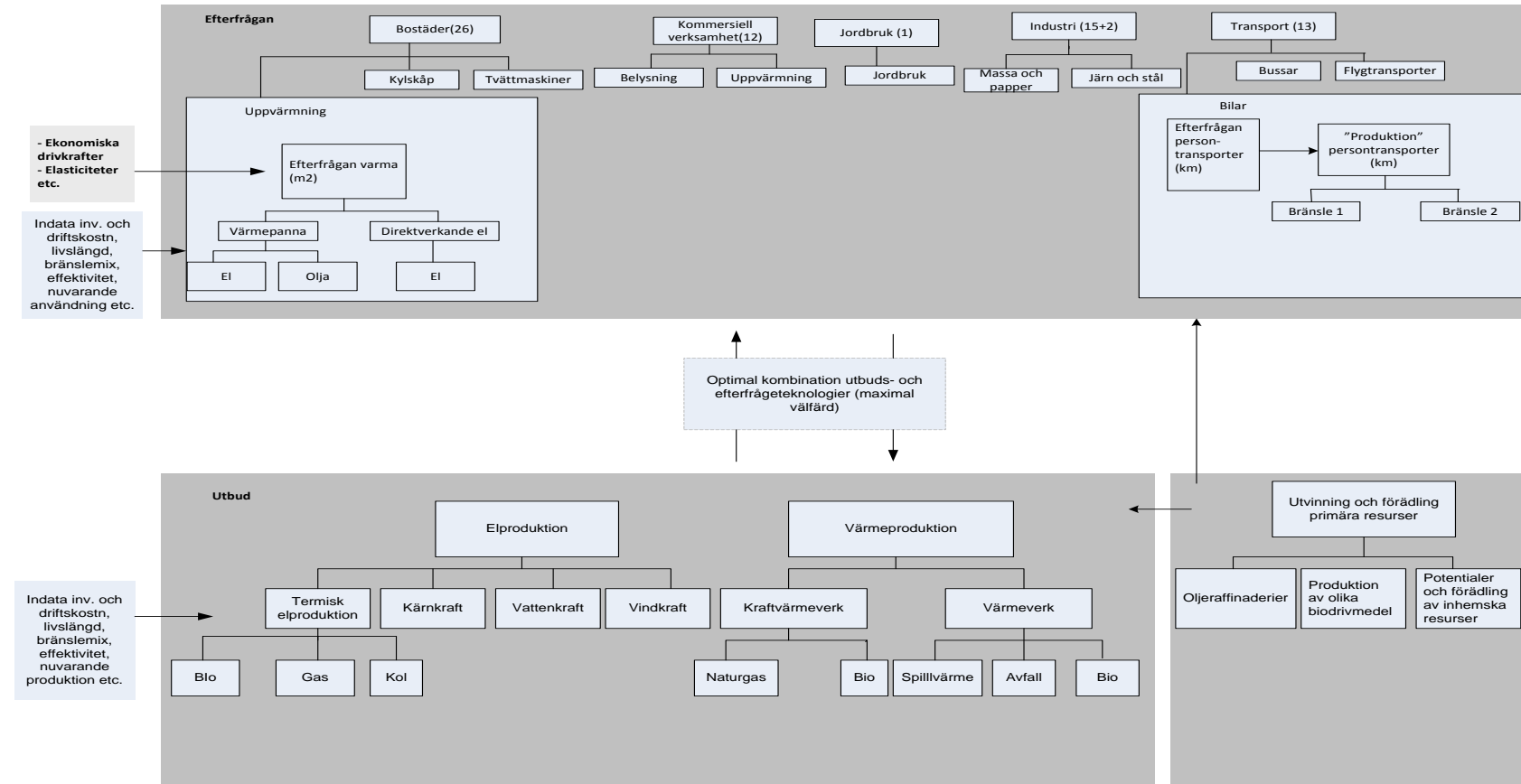
FÖRÄNDRINGAR INFÖR MJUKLÄNKNINGEN

Det har inte varit nödvändigt att göra några justeringar i TIMES-Sweden för att underlätta mjuklänknings. Anledningen är att efterfrågetjänsten som EMEC ger till TIMES-Sweden är exogen även utan länkning.

³ För hushållen innebär detta att t ex uppvärmd yta antas vara konstant oavsett vad som händer med priset på energin (uppvärmd yta beräknas om till en energienhet). Om priset går upp, skulle man kunna tänka sig att folk drar ner temperaturen eller att folk väljer att bo i mindre bostäder, men dessa faktorer har ej tagits hänsyn till i modellen. På samma sätt ges till modellen antalet person kilometer som körs med bil och tar inte hänsyn till bilåkandet kan bytas ut mot kollektivtrafik om priset på drivmedel skulle öka. Däremot finns det en prisåterkoppling mellan inköpt mängd energi. Eftersom slutlig energianvändning beräknas endogent, dvs om konsumenten byter från direktverkande el till värmepump minskar mängden inköpt el. På samma sätt blir bränslesnåla bilar i modellen mer ekonomiskt attraktiva om priset på drivmedel ökar.

⁴ En sådan återkoppling går att aktiviera men detta är ej gjort i TIMES-Sweden.

Figur 4 TIMES-Swedens modellering av hela energisystemet



5 Steg 1 – Identifiera grundläggande skillnader

Ett första steg att formalisera ett gemensamt språk för modellerna är att identifiera modellernas olikheter gällande allmänna antaganden och bedöma huruvida dessa skillnader ska justeras eller om de utan större inverkan på resultaten kan kvarstå.

En av de stora skillnaderna mellan modellerna är vilka flöden som återspeglas. TIMES-Sweden fokuserar på energi-, material-, emissions- och certifikatflöden. EMEC däremot fokuserar på monetära flöden av energi, material, kapital och arbetskraft, men beräknar även emissioner i ton. Detta är centralt att ha i åtanke när resultat från en modell ska inkorporeras i den andra.

Ytterligare en skillnad mellan modellerna är val av basår. Båda modellerna är kalibrerade till ett specifikt år vilket definierar utgångspunkten för modellerna. I TIMES-Sweden kalibreras basåret med avseende på att få en korrekt energibalans (de främsta källorna är Eurostat, SCB och Energimyndigheten) medan EMEC kalibreras så att de ekonomiska flödena i modellens basår exakt återskapas de flöden som beskrivs i SCB:s nationalräkenskaper för samma år. EMEC har, i nuvarande version, basår 2006 medan TIMES-Sweden idag har år 2000 som basår med kalibrering för 2005. Till viss grad påverkar basåret den framtida utvecklingen av systemet, men i modellerna definieras även andra parametrar som till ännu större grad styr modellresultaten. TIMES-Sweden är en dynamisk modell där antaganden även definieras för efterföljande år. Från basåret är det framförallt installerad effekt som påverkar den framtida utvecklingen av energisystemet både i verkligheten och i TIMES-Sweden. Installerad effekt är emellertid relativt stabil mellan olika år och modellen uppdateras kontinuerligt när ny information blir tillgänglig, och valet av basår är därför inte kritisk för resultatet. Data från SCB:s nationalräkenskaper för det valda basåret används i EMEC för att kalibrera vissa parametrar i företagens produktionsfunktion samt i hushållens nyttofunktion. Eftersom modellen antar kontinuerliga produktionsfunktioner kommer förändringar i t.ex. insatsvarustruktur utgå från basåret och förändras kontinuerligt (inga diskreta förändringar) som en följd av bland annat relativprisförändringar. Därför kommer basåret att påverka slutresultaten. Andra antaganden har dock visat sig mer betydelsefulla för slutresultaten än basåret, så som t.ex. vilka substitutionselasticiteter som antas. Dessa elasticiteter beskriver till vilken grad företagen kan förändra sin insatsvarustruktur när relativpriser förändras. Som utgångspunkt för vår mjuklänkingsansats antar vi att olika basår inte skapar problem, eftersom modellerna inte ska hårdlänkas.

Ett väldefinierat referensscenario är viktigt både för EMEC och för TIMES-Sweden eftersom referensscenariot är utgångspunkten för den analys som görs med modellerna. Referensscenariot är av central betydelse för resultatens magnitud och beskriver utvecklingen av svensk ekonomi inklusive utvecklingen av energisystemet om inga nya mål eller styrmedel tillkommer. En analys som utgår ifrån ett referensscenario med hög tillväxt och hög konsumtion av fossil energi kommer med största sannolikhet ge resultat som indikerar höga samhällsekonomiska kostnader för att uppnå ett specifikt miljömål i jämförelse med en analys som uppnår samma miljömål men utgår ifrån ett referensscenario med lägre framtida tillväxt⁵. Ett referensscenario styrs till stor del av valet av exogena parametrar som bestäms av modelleraren, ofta med historiska data som stöd för antagandena. I EMEC är de huvudsakliga exogena parametrarna; produktivitetens utvecklingen i modellens branscher, autonom energieffektivisering, priser och tillväxt på världsmarknaden samt import trender. I TIMES-Sweden är efterfråge-

⁵ Kostnader för att nå ett miljömål, t.ex. klimatmålet, definieras oftast utifrån en jämförelse med en situation utan miljömålet (antingen i ett specifikt framtida år eller hur banan till slutåret förändras). Med andra ord jämförs miljömålsscenario med referensscenariot. Vid hög tillväxt och hög konsumtion av fossil energi i referensscenariot måste reduktionen av t.ex. växthusgaser bli större för att nå klimatmålet än om referensscenariot definieras med låg tillväxt och låg konsumtion av fossila bränslen.

utvecklingen och utvecklingen på energiprodukter som handlas på globala marknaden (t ex kol, naturgas och olja) viktiga exogena parametrar. Styrmedel, energi- och miljömål ges exogent i båda modellerna. Förutom skillnader i basår måste vi beakta att modellerna har olika typer av språkbruk samt använder sig av olika enheter. Det sistnämnda är endast en konverteringsuppgift. Några faktorer som behandlas olika i modellerna presenteras i Tabell 1.

Tabell 1 En jämförelse av icke-energirelaterade faktorer

	EMEC	TIMES-Sweden
Priser	Modellens priser är normaliserade till basårets värde i löpande priser. Endast relativprisförändringar modelleras.	För energibärare med exogena priser ges pris för varje tidperiod. Energi priser som påverkas av världsmarknaden och förväntas variera med tiden antas även göra detta i modellen.
Produktionstekniker	Kontinuerliga produktionsfunktioner där substitutionselasticiteter är viktiga parametrar.	Diskreta processer/tekniker med antagna tekniska (verkningsgrad, tillgänglighet etcetera) och ekonomiska (kapital, drift kostnader etcetera) parametrar. Parametrar som varierar med tiden för att fånga teknisk utveckling.
Basår	2006	2000/2005/2010
Behandlar tid	Statisk	Dynamisk
Valuta	SEK-2006	EUR-2005
Energi	-	PJ
Emissioner	Kton	Kton
<i>Koldioxid (CO₂)</i>	<i>Ja</i>	<i>Ja</i>
<i>Kväveoxider (NOX)</i>	<i>Ja</i>	<i>Ja</i>
<i>Dikväveoxid/ lustgas (N₂O)</i>	<i>Ja</i>	<i>Nej</i>
<i>Koloxid (CO)</i>	<i>Ja</i>	<i>Nej</i>
<i>Metan (CH₄)</i>	<i>Ja</i>	<i>Ja</i>
<i>Partiklar (PM₁₀)</i>	<i>Ja</i>	<i>Ja</i>
<i>Partiklar (PM₂₅)</i>	<i>Ja</i>	<i>Ja</i>
<i>Svaveldioxid (SO₂)</i>		
<i>Volatile Organic Compounds (VOC)</i>	<i>Nej</i>	<i>Ja</i>

6 Steg 2 – Definiera gemensamma exogena parametrar

Ett flertal exogena parametrar är gemensamma för modellerna och de kan delvis variera mellan olika scenarier. Även om alla exogena parametrar inte exakt överlappar mellan modellerna har vi försökt att eftersträva att i möjligaste mån ha en gemensam uppsättning exogena parametrar. Centrala gemensamma parametrar är importpris för bränslen, energi- och miljöskatter och priset på utsläppsrätter inom EU:s utsläppshandelssystem (EU ETS).

6.1 Energi priser

Världsmarknadspriset för import av naturgas, olja och kol är exogent i båda modellerna. Vi antar samma prisförändringar som i analysen av framtida energipriser som presenteras i IEA:s World Energy Outlook 2011. Vi antar de värden som IEA presenterar i deras "new policy scenario" där de åtaganden som utlovas av länderna inom klimatförhandlingarna införlivas.

6.2 Styrmedel

Valet av energi- och klimatekonomiska styrmedel styr till stor grad utformningen av energisystemet i referensscenariot. För referensscenariots ekonomiska utveckling, är däremot energi- och klimatstyrmedel inte lika avgörande. I referensscenariot inkluderas dagens styrmedelsnivåer samt redan beslutade förändringar som ska ske inom de närmsta åren (till och med 2015).

SKATTER

I prop. 2009/10:41 och Ds 2009:24 redovisas de energi- och klimatskattförändringar som har eller ska införas fram till och med 2015. Detta är utgångspunkten för de skatteantaganden som gäller i referensscenariot. I referensscenariot antas även att programmet för energieffektivisering inte kommer att fortgå längre än till 2014 och därmed införs energiskatt på el motsvarande 0,5 öre/kWh för alla energiintensiva företag.

I EMEC kalibreras skattesatserna för varje aktör och deras bränsleanvändning utifrån de faktiska skattebetalningar som redovisas i nationalräkenskaperna för basåret. Skatteförändringar som sker i de officiella skattesatserna används endast för att justera (procentuellt) de kalibrerade skattesatserna vilket ger de skattesatser som ska gälla i referensscenariot. Energi-, svavel-, och koldioxidskatt finns explicit med i EMEC:s beräkningar medan t ex fordonsskatten inte modelleras.

I TIMES-Sweden används skattesatserna i referensscenariot direkt i modellen. Det är därför viktigt att använda korrekt växelkurs och KPI för att få rätt effekt av skatteförändringen. Växelkurs och KPI från 2005 används i TIMES-Sweden. $1 \text{ SEK}_{2011} = 0,900 \text{ SEK}_{2005}$ baserad på SCB Konsumentprisindex (KPI) årsmedeltal totalt, skuggindex, 1980=100 efter tid. Som växelkurs mellan SEK och Euro användes Eurostat: Euro/ECU exchange rates, Bilateral exchange rates, Annual data/Average values, vilket gav $1 \text{ SEK}_{2005} = 0,108 \text{ Euro}_{2005}$.

SUBVENTIONER

Referensscenariot innehåller de subventioner som finns inom energiområdet i dagsläget. De subventioner som finns är framförallt icke-varuanknutna såsom subventioner till förnybar elproduktion⁶ samt investeringsbidrag till solceller och solfångare. EMEC kan endast indirekt modellera icke-varuanknutna subventioner genom att justera nettoskatterna för kapital. Även varuanknutna subventioner, så som subventioner till miljöbilar (superbilspremierna) är svåra att modelleras i EMEC på grund av modellens makroekonomiska karaktär där alla varor inte explicit finns modellerade. I energisystemets referensscenariot, det vill säga i TIMES-Sweden, representeras i möjligaste mån de subventioner som finns inom energi- och klimatområdet.

UTSLÄPPSRÄTTER

Europeiska Kommissionen har i ett antal analyser kalkylerat det framtida utsläppsrättspriset⁷. Avgörande faktorer för utsläppsrättspriset inom EU-ETS är vilket utsläppstak som antas inom handelssystemet, vilka utsläppsmål som gäller för övriga sektorer inom EU samt vilka klimatmål som länder utanför EU implementerar. Då utgångspunkten för vårt referensscenariot är att bibehålla given politik, dagens styrmedel och nivåer, bör EU:s mål endast inkludera givna mål där bördan mellan medlemsländerna är bestämd. Därför antar vi i referensscenariot att EU når målet att reducera växthusgaserna med 20% år 2020. Den prisbild som EU kommissionen förutspår för denna målbild bibehålls för alla efterföljande år i referensscenariot. Däremot kan projektet i ett senare skede analysera vad som händer om EU skulle implementera t.ex. sin färdplan 2050 och därmed uppnå målet att minska EU:s utsläpp med 80-95 % till år 2050.

GRÖNA CERTIFIKAT

I modellernas nuvarande versioner finns gröna certifikat endast representerad i TIMES-Sweden. Priset beräknas endogent, det vill säga genereras i modellen, medan information kring kvotplikt ges av Energimyndigheten.

⁶ Subventioner till förnyelsebar elproduktion är emellertid på väg att fasas ut i Sverige till förmån för elcertifikatsystemet. Kvar finns stöd till pilotprojekt.

⁷ Bland annat; Commission Staff Document, "Impact Assessment" SEC(2011)288 final och "Analysis of options to move beyond 20% greenhouse gas emission reductions and assessing the risk of carbon leakage" COM(2010)265 final.

7 Steg 3 – Överlappande domän

De överlappande domänerna mellan EMEC och TIMES-Sweden rör främst energianvändningen för olika industribranscher och sektorer i ekonomin samt energiproduktionen. Med andra ord innebär överlappande domän att det finns variabler som modelleras endogena i båda modellerna. Vilken modell som ska vara styrande för de överlappande endogena variablerna relaterade till energi beror på vilken modell som har de bästa förutsättningarna för att beskriva utvecklingen av en specifik variabel. Att en modell är styrande för en variabel innebär att den andra modellens motsvarande endogena variabel exogeniseras eller på annat sätt påverkas så att modellen återskapar de resultat som den styrande modellen ger. EMEC är väl ägnat för att beskriva den ekonomiska utvecklingen av en specifik bransch (t ex järn- och stålindustrin) medan TIMES-Sweden är bra på att beskriva ”såld energi”/slutlig energianvändning och teknikval för respektive bransch. Detta gäller speciellt för de energiintensiva branscherna i TIMES-Sweden där det finns en detaljerad teknikbeskrivning för olika processval inom branschen. För övriga branscher i TIMES-Sweden ges total energiefterfrågan som indata och TIMES-Sweden räknar ut energimixen.

För att identifiera de överlappande domänerna mer i detalj måste vi utröna hur branschstrukturen skiljer sig åt mellan modellerna. Branschstrukturen i EMEC följer i stort sätt nationalräkenskapernas definitioner och skiljer sig därmed från branschstrukturen i TIMES-Sweden som följer den branschstruktur som finns i energistatistiken och har en uppdelning som fokuserar på de energiintensiva branscherna. Tabell 2 ger en kartläggning av näringslivets branscher i de båda modellerna och visar även överlappen mellan modellernas olika branscher.

Tabell 2 Kartläggningen av industrin och de areella näringarna.

Branscher i TIMES	Branscher i EMEC	SNI 2002	Bransch enligt Nationalräkenskaperna
Jordbruk	1. Jordbruk	01	Jordbruk och jakt
	2. Fiske	05	Fiske
	3. Skogsbruk	02	Skogsbruk
Del av övr. industri	4. Gruvor	10-14	Utvinning av mineraler
Del av övr. industri	5. Övrig tillverkningsindustri	15,16	Livsmedels-, dryckesvaru- och tobaksindustri
Del av övr. industri		17-19	Textil-, beklädnad- och läderindustri
Del av övr. industri		20	Trävaruindustri
Cement	6. Jord- och stenvaruindustri	26	Jord- och stenvaruindustri
Kalk			
Glas ihåligt			
Glas platt			
Andra icke-metalliska mineralprodukter			
Hög kvalitetspapper	7. Massa och papper	21	Massa-, pappers – och pappersvaruindustri
Lågkvalitetspapper			
Del av övr. industri och tjänstebranschen		22	Förlag och grafisk industri
Del av övr. kemiindustri	8. Läkemedelsindustri	244	Tillverkning av läkemedel, läkemedelskemikalier och botaniska produkter
		245	Tillverkning av rengöringsmedel och toalettartiklar
Ammoniak	9. Kemiindustri	24 exkl. 244,245	Tillverkning av kemikalier och kemiska produkter
Klorin			
Del av övr. kemiindustri			
Del av övr. kemiindustri		25	Tillverkning av gummi- och plastvaror
Järn och stålindustri	10. Järn- och stålindustri	271-273	Järn- och stålindustri
Aluminium	11. Metalindustri	274-275	Gjutning av järn och metall. Framställning av andra metaller än järn
Koppar			
Andra icke järnhaltiga metaller			
Del av övr. industri	12. Verkstadsindustri	28	Tillverkning av metallvaror utom maskiner och apparater
		29	Tillverkning av maskiner som ej ingår i annan underavdelning
		30,31	Tillverkning av kontorsmaskiner, datorer och andra elektriska maskiner och artiklar
		32	Tillverkning av teleprodukter
		33	Tillverkning av precisionsinstrument, medicinska och optiska instrument samt ur
		34,35	Tillverkning av transportmedel
		36,37	Övrig tillverkning

7.1 Industrisektorn

JÄRN- OCH STÅLINDUSTRI

Både EMEC och TIMES-Sweden behandlar järn- och stålindustrin som en specifik enhet. Däremot avspeglas vad som menas med branschen av respektive modells fokusområde. TIMES-Sweden fokuserar på energiflöden medan EMEC fokuserar på de ekonomiska transaktionerna mellan företag inom och mellan branscherna. Kostnadsförändringen av sålda produkter är summan av sålda produkter både inom och utanför branschen. Kostnadsförändringen avspeglar således inte nödvändigtvis förändringen av producerat ton stål, vilket är input till TIMES-Sweden. Så länge förhållandet mellan användandet av inhemsk råvara och slutprodukt är konstant, kan emellertid utvecklingstrenden för sålda produkter från EMEC vara överförbar till utvecklingen av producerad ton stål.

TIMES-Sweden har en detaljerad beskrivning av energiflödet i de olika industriprocesserna. I modellen finns både möjlighet att byta mellan bränsle och att investera i ny teknik som minskar energianvändningen. Energisammansättningen och mängden energi från TIMES-Sweden kan således stärka analysen i EMEC.

ÖVRIG METALLINDUSTRI

Branschen som i EMEC benämns metallindustri är i TIMES-Sweden uppdelad i aluminium, koppar and andra icke-järnhaltiga metaller. Precis som för järn- och stålindustrin är dessa branscher beskrivna med flera processteg och TIMES-Sweden bör vara styrande vad gäller sammansättningen och nivån på branschens slutliga energianvändning.

MINERALPRODUKTER

Branschen som i EMEC benämns jord- och stenvaruindustri är i TIMES-Sweden uppdelad i cement, kalk, ihåligt och plant glas, samt andra icke-metalliska mineralprodukter. Precis som för järn- och stålindustrin är dessa branscher beskrivna med flera processteg och TIMES-Sweden bör vara styrande vad gäller sammansättningen av branschens slutliga energianvändning.

MASSA- OCH PAPPERSINDUSTRI

Branschen som i EMEC benämns massa- och pappersindustri omfattar både tillverkning av massa, papper och pappersprodukter men även grafisk industri. I TIMES-Sweden innefattar däremot massa- och pappersindustrin endast tillverkning av massa, papper och pappersprodukter, som i sin tur delas upp i hög- och lågkvalitativ pappersproduktion. Grafisk industri återfinns både i TIMES-Swedens bransch övrig industri (tryckning) och i servicebranschen (publicering).

Som för järn- och stålindustrin är dessa branscher beskrivna med flera processteg i TIMES-Sweden, och TIMES-Sweden bör således vara styrande vad gäller sammansättningen av branschens slutliga energianvändning.

KEMIINDUSTRI

Kemiindustrin i EMEC är uppdelad i två delbranscher; läkemedelsindustri och övrig kemiindustri medan den i TIMES-Sweden är uppdelad på ammoniak, klorid, och andra kemikaliska produkter. I EMEC har läkemedelsindustrin brutits ut ur kemiindustrin eftersom den inte är lika energiintensiv som övriga delar inom kemiindustrin samtidigt som den är ekonomiskt viktig. Även om TIMES-Sweden har en detaljerad beskrivning av olika processteg för de ur ett europaperspektiv mest energiintensiva

industrisegmenten, ammoniak och klorid, är det svårt att hitta relevanta återkopplingsflöden mellan modellerna. Både ammoniak- och kloridindustrin är en liten del av den svenska kemiindustrins energianvändning.

ÖVRIGA INDUSTRIER

Branschen som i TIMES-Sweden benämns övrig industri är ett samlingsbegrepp som i EMEC omfattar många olika branscher; allt från tillverkningsindustri till gruvor. I TIMES-Sweden är branschen endast beskriven med en aggregerad process (olika energi-input med fast andel ger slutprodukten). Därför bör EMEC vara styrande gällande total energiefterfrågan medan TIMES-Sweden bör vara styrande för energimixen.

7.2 Areella näringar

Branschen som benämns jordbruk i TIMES-Sweden överensstämmer till stor grad med de branscher som i EMEC benämns jordbruk, skogbruk och fiske, se Tabell 2. Inga detaljerade tekniska processer finns beskrivna i TIMES-Sweden utan endast en aggregerad efterfrågefunktion beskriver energiefterfrågan och därför följer vi processen i övrig industri gällande vilken modell som är styrande för vilka variabler.

7.3 Tjänstesektorn

Den aggregerade tjänstebanschen i TIMES-Sweden innehåller en diversifierad mängd tjänsteproduktion; både traditionella tjänster så som bank och försäkringsverksamhet ingår men även byggindustrin. Tabell 3 ger en kartläggning av de båda modellernas tjänstebanscher.

Tabell 3 Kartläggning av service sektorn

Branscher i TIMES	Branscher i EMEC	SNI 2002	Bransch enligt Nationalräkenskaperna
Tjänster	17. Vatten och avlopp	41, 9001	Vattenförsörjning och avloppsrening
Tjänster	18. Byggindustri	45	Byggverksamhet
Tjänster	24. Övriga transporttjänster	63	Stödtjänster till transport; resebyråverksamhet
		64	Post- och telekommunikationer
Tjänster	25. Handel och tjänster	50-52	Partihandel och detaljhandel; reparation av motorfordon, hushållsartiklar och personliga artiklar
		55	Hotell- och restaurangverksamhet
		65	Finansförmedling utom försäkring och pensionsfondsverksamhet
		66	Försäkring och pensionsfondsverksamhet utom obligatorisk socialförsäkring
		71-74	Uthyrningsverksamhet, databehandlingsverksamhet m.m., forskning och utveckling och andra företanstjänster
		75,80-85,90-95	Övriga privata tjänster
Hushåll och tjänster	26. Bostäder	70	Fastighetsverksamhet
Tjänster	Offentlig produktion		Offentlig produktion

BOSTÄDER OCH SERVICE SEKTORN

Energimyndighetens prognoser för uppvärmning och varmvatten beräknas i en DOS-modell och tar bland annat i beaktning antal hus/fastigheter. Hushållselen baseras på uppskattad utveckling av privatkonsumtionen, bostadsyta samt antal personer per hushåll.

I nuvarande version av EMEC är hushållens och näringslivets energiefterfråga endogen, det vill säga ett modellresultat. Efterfrågefunktionerna för de olika aktörerna bestäms genom kostnadsminimering för näringslivet och genom nyttomaximering för hushållen. Energivarans efterfrågefunktion är främst funktioner av relativpriser i förhållande till andra varor och tjänster samt inkomstförändringar. Detta kan vara ett intuitivt antagande när det gäller insatsvaror i produktionen men vid uppvärmning är det främst uppvärmd yta som är avgörande för energiåtgången vilket beskrivs på ett mer tillfredställande sätt i TIMES-Sweden. Därför bör TIMES-Swedens resultat vara styrande för hushållens energiefterfrågan för uppvärmning i EMEC.

TRANSPORT SEKTORN

EMEC beskriver transporterna i flera separata transportbranscher (tåg-, land-, sjö- och lufttransporter). Dessa sektorer påverkas av efterfrågan på transporttjänster från övriga näringar och hushållen. Till viss del finns även transporter som utförs inom en bransch av t.ex. massa- och pappersindustrin och som därmed inte produceras av ett transportföretag. I fallet då transporttjänsten produceras inom en annan bransch än transportbranscherna ligger kostnaden för transporten dold i branschens insatsvaror. Viss uppskattning av de egenproducerade transporterna kan dock göras genom att studera hur drivmedelsförbrukningen minskar eller ökar i branschen. Men för att producera transporttjänster krävs även arbetskraft och kapital vilket inte går att urskilja från branschens övriga behov av arbetskraft och kapital. Hushållens transportefterfrågan bestäms endogen i modellen och påverkas av relativprisförändringar och hushållens inkomstnivå.

Att transportsektorn skiljer sig betydligt mellan modellerna är ett resultat av vilken statistik som är utgångspunkten för modellerna. EMEC har sin statistiska utgångspunkt från nationalräkenskaperna medan TIMES-Sweden tar sin utgångspunkt inom energistatistiken. I energistatistiken och i TIMES-Sweden är all energianvändning för att transportera personer eller gods från plats A till B koncentrerad i en sektor kallad transportsektorn. Transportsektorn i EMEC och i nationalräkenskaperna inbegriper transportnäringen, det vill säga de branscher som säljer transporttjänster (t ex åkerinäringen, bussbolag). Bensin som köps av privatpersoner redovisas som hushållskonsumtion medan värdet av bränsleförbrukningen för lokaltrafiken redovisas i branschen passagerartrafik på väg. Vidare hamnar bränsleförbrukningen för lastbilar och andra transporter som ägs av företag som har sin huvudsakliga syssla i andra branscher i den bransch där företaget är registrerat. Exempelvis finns det möbelaffärer som har egna bilar för att köra ut möbler till kunder vilket ger bensinförbrukning i tjänstesektorn. Om istället möbelaffären köper en tjänst från ett åkeriföretag kommer bensinen registreras i åkeribranschen. Konsekvensen blir att det inte går att göra en direkt jämförelse mellan modellernas transportsektorer utan jämförelsen måste ske på lägre nivå. En kartläggning av vilka sektorer som kan jämföras ges i Tabell 4.

Tabell 4 Kartläggning av var transportrelaterade energivärden är beskrivna i respektive modell.

Branscher i TIMES	Branscher i EMEC	SNI 2002	Bransch enligt Nationalräkenskaperna
Järnväg godstrafik	19. Järnväg – del av	601	Järnvägstransport
Järnväg Passagerare lång	19. Järnväg – del av	601	Järnvägstransport
Väg godstrafik – del av	20. Väg godstrafik	6024	Vägtransport av gods
Väg buss stadstrafik	21. Väg passagerartrafik – del av	6021-6023	Annan linjebunden landtransport av passagerare
Väg buss Intercity	21 Väg passagerartrafik – del av	6021-6023	Annan linjebunden landtransport av passagerare
Järnväg passagerare kort	21. Väg passagerartrafik – del av	6021-6023	Annan linjebunden landtransport av passagerare
Väg bil kortdistans – del av	21. Väg passagerartrafik – del av	6021-6023	Annan linjebunden landtransport av passagerare
Väg bil långdistans – del av	21. Väg passagerartrafik – del av	6021-6023	Annan linjebunden landtransport av passagerare
Sjötransport inrikes	22. Sjötransporter	61	Sjötransport
Flyg internationell	23. Flyg transporter – del av	62	Lufttransport
Flyg inrikes	23. Flyg transporter – del av	62	Lufttransport
Tjänster – del av	24. övr. Transporttjänster	63	Stödtjänster till transport; resebyråverksamhet
Tjänster – del av		64	Post- och telekommunikationer

Transporter i TIMES som i EMEC finns inkluderade även i andra sektorer:

Väg godstrafik: Del av bränsle i alla EMECs sektorer.

Väg bil kortdistans: Del av Handel och tjänster, Hushåll och Offentlig sektor i EMEC.

Väg bil kortdistans: Del av Handel och tjänster, Hushåll och Offentlig sektor i EMEC.

7.4 Energiomvandlingssektorn

Energiomvandlingssektorn är motorn i TIMES-Swedenmodellen. TIMES-Sweden är således styrande för vilka insatsvaror som behövs för el- och fjärrvärmeproduktionen. Förändringen i elpriset antas även vara givet av resultaten från TIMES-Sweden.

Tabell 5 Energiomvandling sektorn

Branscher i TIMES	Branscher i EMEC	SNI 2002	Bransch enligt Nationalräkenskaperna
Del av övrig industri	4. Del av gruvor	10-14	Utvinning av mineraler
Del av energiproduktionen (energibrytning, t.ex. torvbrytning)	4. Del av gruvor	10-14	Utvinning av mineraler
Petroleum raffinaderier. (under energiproduktionen)	13. Petroleum raffinaderier	23	Tillverkning av stenkolsprodukter, raffinerade petroleumprodukter
Elproduktion inkl. nät	14. Elproduktion	401	Elförsörjning
Fjärrvärmeproduktion inkl rör	15. Fjärrvärmeproduktion	403	Ång- och hetvattenförsörjning m.m.
Energiproduktionssektorn	16. Gas	402	Gasförsörjning; distribution av gasformiga bränslen via rörnät.

8 Steg 4 – Mellanledsmodell

En stor utmaning inom projektet var att det inte går att direkt översätta modellresultat från en av modellerna till den andra. För att lösa detta har projektet utarbetat autonoma översättningsfunktioner som bildar ett mellanled mellan modellerna, en så kallad mellanledsmodell. Utgångspunkten var att detta mellanled ska vara utformat så att det går att upprepa i ett iterativt förfarande, det vill säga det ska inte ingå bedömningar i varje iteration. TIMES-Swedens resultat översätts till EMEC genom att använda procentuella förändringar vilket bildar mellanledsmodellen mellan TIMES-Sweden och EMEC. När EMEC:s resultat däremot ska översättas till TIMES-Swedens indata krävs det mer utförliga mellanledsmodeller. Dessa mellanledsmodeller är bransch- och sektorsspecifika men även variabelspecifika och kan se olika ut beroende på om vi kalibrerar fram ett referensscenario eller om det är en simulering av policyanalys. Anledningen till att vi i vissa fall skiljer mellan referensscenario och policyanalyssimuleringar är att ett referensscenario, främst i EMEC-modellen, är relativt styrt av modellern och det är ofta en specifik nivå på ekonomin som ska uppnås. I ett policyscenario däremot är det viktigt att pris- och inkomsteffekter får inverka på resultaten mer explicit och därför kan i vissa fall referensscenariots mellanledsmodell skilja sig från alternativscenariots trots att det är samma bransch och variabel som ”översätts” mellan modellerna. Vi gör detta för att inte bygga bort modellernas respektive styrkor i mjuklänkningsen.

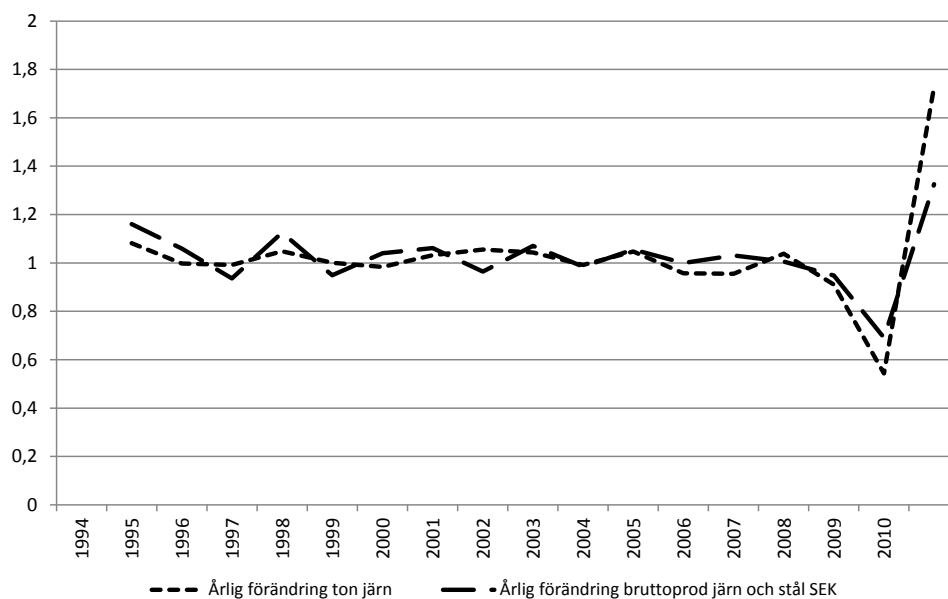
8.1 Energiintensiva industrisektorer

Järn- och stålindustrin, metallindustrin, mineralproduktionsindustrin och pappers- och massaindustrin är energiintensiva branscher som är relativt väl dokumenterade i TIMES-Sweden. Modellen kan givet produktionen i fysiska termer räkna fram den processteknik och kombination av energislag som minimerar kostnaderna för energisystemet. I avsnittet om överlappande domäner har vi beskrivit att vi för dessa branscher låter TIMES-Sweden vara styrande, det vill säga att det är TIMES-Sweden som styr både total energi per producerad enhet i varje bransch och energimixen.

Resultaten från EMEC inkluderar bland annat bruttoproduktionen för varje bransch i fasta priser. Detta avspeglar till viss del produktionen i branschen i fysiska termer men eftersom EMEC:s branscher är aggregerade innehåller branschen flera processteg och det kan ske försäljning i varje steg som registreras som bruttoproduktion i branschen som helhet. För att få en bättre bild av relationen mellan branschens tillväxttakt i fasta priser och produktionen av en specifik vara i fysiska termer har vi valt att studera hur denna relation har sett ut historiskt. Vi använder medelvärdet av den årliga förändringen av produktion i ton dividerat med produktion i fasta priser för perioden 1993-2010. Figur 5 visar hur relationen mellan fysisk produktion av järn relativt väl samspeglar med årlig förändring i bruttoproduktionen i järn- och stålindustrin. Medelvärdet avspeglar dock att produktionen av järn har minskat i förhållande till branschens totala produktion eftersom medelvärdet är lägre än ett, se Tabell 6.

Figur 5 Järn- och stålindustrin

Förändring i ton järn dividerat med förändring i bruttoproduktionen i järn- och stålindustrin

**Tabell 6 Omvandlingsparametrar inom energiintensiv industri**

Bransch i EMEC	Bransch i TIMES	Omvandlingsparameter
Järn och stålindustrin	Järn*	0,992
Järn och stålindustrin	Stål (IIS)	1,002
Metallindustri	Aluminium (IAL)	0,996
Metallindustri	Koppar (ICU)	1,047
Mineralindustri	Cement (ICM)	1,000
Massa och pappersindustri	Massa*	1,002
Massa och pappersindustri	Papper (IPH, IPL)	1,007

*) I TIMES är järn respektive massa delprodukter som används för att producera slutprodukten stål respektive papper. I själva verket är järn och pappersmassa en produkt som även exporteras och importeras. I dagens TIMES-Sweden är kedjan från råvara till slutprodukt obruten, dvs import/export av delprodukter beaktas inte. Detta kan i framtiden komma att ändras.

Mellanledsmodellen för översättningen av resultat från EMEC och TIMES-Sweden för dessa branscher är således:

$$YT_{i,1} = \alpha_i \cdot YE_{i,1} \quad (1)$$

Där $YT_{i,1}$ är årlig förändring av produktionen av en specifik vara i TIMES-Sweden i iteration 1 för bransch i . Omvandlingsparametern, α_i , antar värden från Tabell 6 och $YE_{i,1}$ är årlig förändring av bruttoproduktionen för bransch i , iteration 1, från EMEC-modellen.

Information som går tillbaka från TIMES-Sweden till EMEC, och som är utgångspunkt för nästa iteration (iteration 2), är den totala energimängden som industrin måste köpa för att uppnå den produktion som EMEC angav i föregående iteration. I EMEC justeras energiproduktivitetsparametrarna så att energi per produktionsenhet

överensstämmer med resultaten från TIMES-Sweden. Följande relation måste alltså gälla i nästa iterationssteg med EMEC.

$$EE_{i,2}/YE_{i,2} = ET_{i,1}/YT_{i,1} \quad (2)$$

Där $EE_{i,2}$ är totala energimängden för bransch i , iteration 2, i EMEC. $YE_{i,2}$ är bruttoproduktionen i bransch i , iteration 2 i EMEC. $ET_{i,1}$ är total energimängden för bransch i i TIMES-Sweden iteration 1 och $YT_{i,1}$ är total produktionen i bransch i , iteration 1 i TIMES-Sweden (som även är lika med $YE_{i,1}$).

TIMES-resultaten styr även den nya energimixen för de energiintensiva branscherna. Andelarna av de olika energislagen läggs in exogent i EMEC utifrån TIMES-resultaten. Med andra ord sker en omkalibrering av produktionsfunktionens energimodul för de energiintensiva branscherna.

För de energiintensiva branscherna är referensscenariots mellanledsmodell lika med alternativscenariernas och därmed behandlas data mellan modellerna på samma sätt i alla typer av scenarier.

8.2 Övriga industribranscher och de areella näringarna

För övriga industribranscher samt för de areella näringarna är TIMES-Sweden inte lika detaljerad som för de energiintensiva branscherna. TIMES-Sweden kan givet det totala energibehovet i övriga industribranscher beräkna den optimala energimixen, det vill säga vilka energislagen som efterfrågas och i vilka mängder.

EMEC räknar för dessa branscher ut bruttoproduktionen samt även totalt inköpt energimängd samt energimix. Enligt tidigare diskussion i avsnittet om överlappande domäner låter vi TIMES-Sweden vara styrande gällande energimix. I referensscenariot antar vi att EMEC:s bruttoproduktion tillsammans med den historiska utvecklingen av kvoten mellan förändring i efterfrågad energi och förändring i bruttoproduktion ger förändringen i efterfrågad energi för branschen. Denna kvot avspeglar både branschens historiska energieffektivisering samt även strukturomvandling inom branschen. Kvoten används i referensscenariots mellanledsmodell och beräknas genom att använda medelvärdet av den årliga förändringen av energianvändning i PJ dividerat med årlig förändring i produktion i fasta priser för perioden 1993-2010. Tabell 7 redovisar omvandlingsparametrarna för övrig industri och de areella näringarna.

Tabell 7 Omvandlingsparametrar inom övrig industri och de areella näringarna

Bransch i EMEC	Bransch i TIMES	Omvandlingsparameter
Jordbruk, skogsbruk, fiske	Jordbruk (AGR)	0,994
Kemi- och läkemedelsindustrin	Kemi (ICH)	0,969
Gruvor, verkstadsindustrin, övrig tillverkningsindustri	Övrig industri (IOI)	0,941

Mellanledmodellen för översättningen av resultat från EMEC till TIMES-Sweden för dessa branscher blir därmed:

$$ET_{ovri,1} = \gamma_{ovri} \cdot YE_{ovri,1} \quad (3)$$

Där $ET_{ovri,1}$ är årlig förändring av total energiefterfrågan för produktion av en specifik vara i TIMES-Sweden i iteration 1 för bransch $ovri$, γ_{ovri} är omvandlingsparametern från Tabell 7 och $YE_{ovri,1}$ är årlig förändring av bruttoproduktion för bransch $ovri$, iteration 1, i EMEC-modellen.

Information som går tillbaka från TIMES-Sweden till EMEC, och som är utgångspunkt för nästa iterationskörning (iteration 2), är den totala energimängden som industrin måste köpa för att uppnå produktionen som EMEC angav i föregående iterationskörning. I EMEC justeras energiproduktivitetsparametrarna så att energi per produktionsenhet överensstämmer med TIMES-Sweden. Följande relation måste alltså gälla i nästa körning med EMEC.

$$EE_{ovri,2} / YE_{ovri,2} = ET_{ovri,1} / YT_{ovri,1} \quad (4)$$

Där $EE_{ovri,2}$ är totala energimängden för bransch $ovri$, iteration 2, i EMEC. $YE_{i,2}$ är bruttoproduktionen i bransch $ovri$, iteration 2 i EMEC..

TIMES-resultaten styr även den nya energimixen för de övriga branscherna. Andelar av de olika energislagen läggs in exogent i EMEC utifrån TIMES-resultaten genom att produktionsfunktionen kalibreras om.

Mellanledsmodellen vid policysimuleringar antas ha en annan utformning än för referensscenariot. I ett policyscenario ska mängden energi påverkas mer direkt av prisförändringar och därmed kommer förändringen i totala energiefterfrågan för varje bransch i förhållande till referensscenariot tas från EMEC-modellen. Referensscenariot kommer med andra ord sätta energiefterfrågan på en "rimlig nivå" givet den historiska utvecklingen medan förändringen i policyscenario påverkas av pris- och inkomsteffekter från allmänjämviktsmodellen. Energimixen kommer dock fortsättningsvis styras av resultaten från TIMES-Sweden.

8.3 Uppvärmning av lokaler

Energibehovet för uppvärmning av lokaler beräknas i TIMES-Sweden utifrån antal kvadratmetrar som ska värmas upp. I EMEC däremot är energiefterfrågan för uppvärmning inte specificerad utan en del av totala el- och fjärrvärmeefterfrågan som i sin tur förändras beroende på branschens produktionsstorlek samt relativpriser. TIMES-Sweden antas därmed vara den styrande modellen för energibehovet för uppvärmning i tjänstebanschederna, som i EMEC motsvaras av både privata och offentliga tjänster, se Tabell 3. För att relatera antal kvadratmetrar uppvärmd yta med EMEC:s produktionsnivå har vi valt att anta att storleken på den uppvärmda ytan förändras med sysselsättningen inom branschen eftersom storleken på kontorsytan är relaterad till hur många som är sysselsatta.

Mellanledsmodellen blir således:

$$KVMLT_{si,1} = LE_{si,1} \quad (5)$$

Där $LE_{si,1}$ är förändring i sysselsättningen i bransch si iteration 1 från EMEC-modellen. $KVMLT_{si,1}$ är förändring i antal kvadratmetrar som ska värmas upp i bransch si i första iterationen i TIMES-Sweden.

8.4 Driftsel i tjänstebranscherna

Driftsel finns inte specifikt i EMEC utan inkluderas i totala efterfrågan som både går till uppvärmning av lokaler samt driftsel. TIMES-Sweden behöver information angående vilka driftseljänster som behövs. Driftsel inom tjänstebranscherna motsvaras av exempelvis el till datorer, belysning. Utifrån denna information väljer sedan TIMES-Sweden hur mycket el som behövs för att utföra dessa tjänster givet den teknik som finns tillgänglig samt hur elpriset förändras. Vi har valt att knyta förändringen i driftseltjänsterna till efterfrågan av totala insatsvarorna i EMEC-modellen. Med andra ord kommer mellanledsmodellen mellan EMEC och TIMES-Sweden rörande driftseln ha följande utseende:

$$DT_{si,1} = ME_{si,1} \quad (6)$$

Där $ME_{si,1}$ är förändring i materialanvändningen i bransch si iteration 1 från EMEC-modellen. $DT_{si,1}$ är förändring i driftseljänster i bransch i i första iterationen.

Den energi som behövs för uppvärmning och driftsel enligt TIMES-Sweden läggs till energiefterfrågan för tjänstenäringen och används för att kalibrera in både total energianvändning i tjänstebranscherna samt energimixen. Precis som för övriga industribranscher kalibreras energieffektiviseringsparametrarna så att relationen efterfrågad energi per bruttoproduktion motsvarar TIMES-Sweden (se ekvation 4).

8.5 Godstransporter

TIMES-Sweden beräknar energianvändningen och energimix inom godstransportsbranscherna utifrån antalet tonkilometrar som ska produceras. Detta antas sedan vara styrande för energianvändningen och energimixen i EMEC-modellen. EMEC-modellen beräknar inte antalet tonkilometrar i transportbranscherna utan total bruttoproduktion. För att översätta förändring i bruttoproduktion till förändring i antal tonkilometrar har vi även för dessa branscher tittat på den historiska utvecklingen. Omvandlingsparametrarna för varje godstransportsbransch räknas ut som medelvärdet av den historiska kvoten baserad på förändring i antal tonkilometer dividerat med förändring i bruttoproduktion för branschen. Dessa översättningsparametrar presenteras i Tabell 8.

Tabell 8 Omvandlingsparametrar för godstransportbranscherna

Bransch i EMEC	Bransch i TIMES	Omvandlingsparameter
Väg godstrafik	Godstransporter väg	0,995
Järnvägstransporter	Godstransporter järnväg	1,020
Sjötransporter	Godstransporter sjö	0,983
Flygtransporter	Godstransporter flyg	1,000*

* Ingen information om antal tonkilometrar hittades för flyggodstransporter. Omvandlingsparametern antas vara 1.

Mellanledsmodellen som översätter EMEC:s resultat till TIMES kan således beskrivas med följande ekvation:

$$KT_{ti,1} = \beta_{ti} \cdot YE_{ti,1} \quad (7)$$

Där β_{ti} är omvandlingsparametern för godstransportbranschen ti , iteration 1. $KT_{ti,1}$ är förändring i antal tonkilometrar för godstransportbranschen ti , iteration 1. $YE_{ti,1}$ är förändring i bruttoproduktion i godstransportbranschen ti .

På samma sätt som för övrig industri justeras sedan energiproduktivtetsparametern för varje godstransportbransch så att relationen energi per producerad enhet hålls på en nivå som motsvarar förändringen enligt TIMES, se ekvation 4. Produktionsfunktionens energiblock kalibreras om för att efterlikna den energimix som ges av TIMES-Sweden.

8.6 Kollektiva persontransporter

Även för de kollektiva persontransportbranscherna studeras det historiska sambandet mellan förändring i personkilometrar och förändring i bruttoproduktion. Omvandlingsparametrarna mellan förändring i personkilometer och förändring i bruttoproduktion antas motsvarar medelvärdet för perioden 1993-2010. Tabell 9 presenterar omvandlingsparametrarna för de kollektiva persontransporterna.

Tabell 9 Omvandlingsparametrar för persontransporter

Bransch i EMEC	Bransch i TIMES	Omvandlingsparameter
Persontransporter väg	Kollektivtrafik väg	0,979
Järnväg	Persontransporter järnväg	1,008

Mellanledsmodellen som översätter EMEC:s resultat till TIMES kan således beskrivas med följande ekvation:

$$PKT_{tpi,1} = \mu_{tpi} \cdot YE_{tpi,1} \quad (8)$$

Där μ_{tpi} är omvandlingsparametern för persontransportbranschen tpi , iteration 1. $PKT_{tpi,1}$ är förändring i antal personkilometrar för persontransportbranschen tpi , iteration 1. $YE_{tpi,1}$ är förändring i bruttoproduktion i persontransportbranschen tpi .

På samma sätt som för övrig industri justeras sedan energiproduktivtetsparametern för varje persontransportbransch så att relationen energi per producerad enhet hålls på en nivå som i TIMES, se ekvation 4. Produktionsfunktionens energiblock kalibreras även om för att efterlikna den energimix som ges av TIMES-Sweden.

8.7 Hushållens biltransporter

Utifrån hushållens efterfrågan av personkilometrar för privata persontransporter beräknar TIMES-Sweden energiefterfrågan samt energimixen för hushållens privata persontransporter. Mellanledsmodellen måste således resultera i förändring i antal personkilometrar för privata persontransporter. Hur förändringen av antal personkilometrar förändras antas bero på inkomst- och priselasticiteter. Mellanledsmodellen beskriv enligt ekvationen nedan:

$$TAT_h = (1 + \Delta InkomstE \cdot \varepsilon_{in}) \cdot (1 + \Delta bensinpE \cdot \varepsilon_{bensinp}) \quad (9)$$

Där TAT_h är förändring i transportarbetet för hushållen i TIMES-Sweden. $\Delta InkomstE$ är förändring i hushållens inkomst från EMEC-modellen och ε_{in} är inkomstelasticiteten för transportarbete. $\Delta bensinpE$ är förändringen i bensinpriset som härrör från EMEC-modellen och $\varepsilon_{bensinp}$ är bensinpriselasticiteten med avseende på transportarbete.

I mellanledsmodellen antas inkomstelasticiteten för transportarbete med bil till 0,62 vilket estimerats i SIKA (2002). I rapporten VTI (2006) redovisas en rad internationella studier, samt en nationell studie, som estimerar priselasticiteten med avseende på bensinpris och transportarbete med bil. De internationella studierna visar på en genomsnittlig kortsiktig elasticitet på -0,16 och en genomsnittlig långsiktig elasticitet på -0,26. Dessa jämförs i VTI-studien med den svenska studie som gjordes av Jansson och Wall (1994) och som påvisade en kortsiktig elasticitet motsvarande -0,2 och en långsiktig motsvarande -0,3. Vi väljer att använda den långsiktiga priselasticiteten från den svenska studien trots att studien gjordes för relativt många år sedan eftersom den ligger inom samma spann som de mer aktuella internationella studierna.

8.8 Uppvärmning av bostäder

Utifrån antal kvadratmetrar uppvärmd bostadsyta, samt information om värmegraden, kan TIMES-Sweden beräkna energiefterfrågan samt energimix. Antalet kvadratmetrar kan beräknas utifrån bostadsbeståndet idag, rivning och nybyggnation i framtiden. Nybyggnation inkluderar även till viss del ombyggnation i TIMES-Sweden eftersom nya fönster och tillbyggnader med bättre isolering förbättrar hela husets energiprestanda. Hur dessa tre poster utvecklats är förmodligen både en konsekvens av befolkningsutvecklingen, inkomstutvecklingen samt även till viss del hur energipriset utvecklar sig. Vi har valt att i referensscenariot anta en utveckling som är helt skild från EMEC-körningarna och baseras på prognoser som använts inom det EU-finansierade RES2020 projektet⁸, som i sin tur baseras på en metod utvecklad inom NEEDS projektet⁹. Metoden, som finns dokumenterad i Kypreos och Van Regemorter(2006), beräknar det framtida byggnadsbeståndet och beaktar såväl konstruktion av nya bostäder och lokaler som rivnings- och renoveringstakten av existerande byggnader. I alternativscenarierna däremot kommer förändringen i hushållens efterfråga av bostadstjänster, som fås från EMEC-körningen, avspeglar hur förändringen av antal kvadratmetrar uppvärmd bostadsyta förändras vid en policyförändring. Förändringen i bostadsinköpen inkluderar en inkomsteffekt och en priseffekt från dyrare/billigare uppvärmning.

Det som sedan går tillbaka som input till EMEC från TIMES är förändringen i de energislag som köps in för uppvärmning. Om något nytt energislag tillkommer används implicita priser i EMEC. I TIMES-Sweden registreras även energi från energikällor som inte behövs köpas in, exempelvis energi från jordvärme, medan det som registreras i EMEC däremot är endast det som köps från energibolagen.

⁸ Monitoring and Evaluation of the RES directives implementation in EU27 and policy recommendation for 2020 (RES2020). www.cres.gr/res2020

⁹ New Energy Externalities Development for Sustainability (NEEDS). www.needs-project.org

9 Steg 5 – Kalibrering av ett referensscenario

Som utgångspunkt för kalibrering av ett referensscenario används det långsiktsscenario som Konjunkturinstitutet arbetat fram under vintern 2011/2012 (Konjunkturinstitutet 2012). Detta scenario inkluderar bland annat antaganden om energieffektivisering för varje bransch samt hushållen. Energieffektiviseringsparametrarna kalibrerades så att scenariots energianvändning efterliknade Energimyndighetens långsiktsprognos 2010. Eftersom TIMES-Sweden i detta projekt ska beräkna energiefterfrågan i samverkan med EMEC tas alla tidigare antaganden om energieffektivisering bort. Konsekvensen av detta är att resultatet från EMEC:s första iteration i mjuklänkningsprojektet inte helt avspeglar det scenario som publicerats tidigare. Dock har scenariot i övrigt samma exogena antaganden så som exempelvis energipriser, arbetsproduktivitet, offentlig konsumtion och antal sysselsatta.

9.1 Iterativa processen

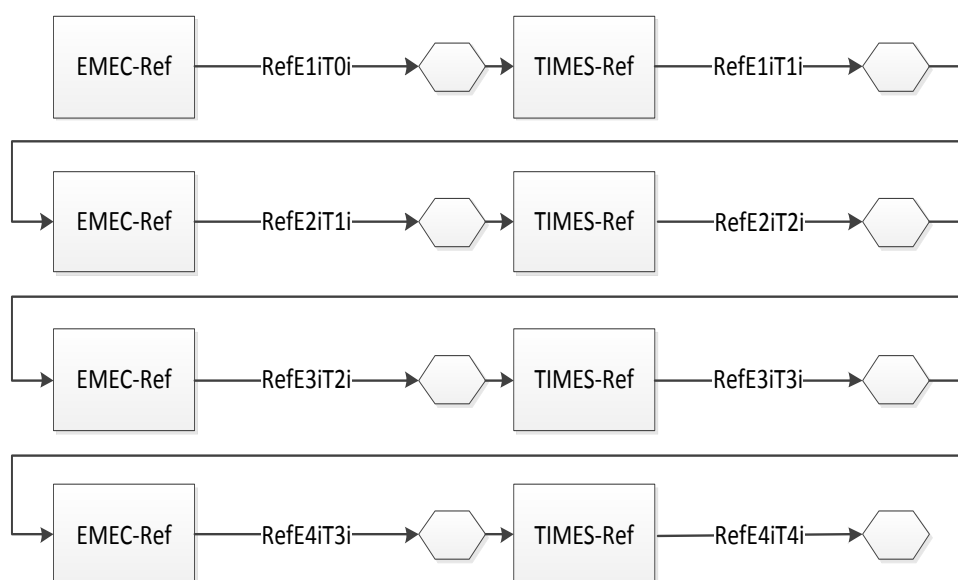
I den iterativa processen utbytes pris- och kvantitetsinformation mellan modellerna. Utbytet av information följer den mellanledsstruktur som beskrivits i avsnittet ovan. I det första steget används resultaten från körningarna med EMEC från det justerade långsiktsscenario som insats till mellanledsmodellerna som sedan producerar indata till TIMES-Sweden. TIMES-Sweden körs och ger en ny bild av energisystemet. Det bör poängteras att en central del av överföringar mellan modellerna är konverteringen mellan faktiska nivåer och förändringstakter. Modellerna använder faktiska nivåer medan konverteringen sker i förändringstakter vilket är en konsekvens av att modellerna modellerar i olika enheter (fysiska enheter och monetära enheter) samt att priserna i EMEC är modellerade som relativpriser medan TIMES-Swedens priser är absoluta nivåer.

Utifrån resultaten från TIMES-Sweden räknas förändringstakterna fram med avseende på varje bransch energiefterfrågan för de olika energislagen. En ny energimix (andel av varje energislag) för varje bransch beräknas och används som input till EMEC. När ett bränsle börjar användas i en bransch som inte tidigare använt detta bränsle används det implicita bränslepriset från de övriga branscherna för att beräkna kvantiteten i fasta priser. Detta eftersom EMEC inte modellerar energienheter utan monetära enheter. Branschernas produktionsfunktioner kalibreras sedan till den nya energimixen från TIMES-Sweden. En restriktion sätts i EMEC som innebär att kvoten mellan energi per producerad enhet måste vara lika med den energikvot som fås av TIMES-Sweden. Restriktionen uppfylls genom att EMEC endogent justerar energieffektiviseringsparametrarna i varje bransch.

Priset på energi är ytterligare en variabel som måste överensstämma mellan TIMES-Sweden och EMEC. Undantaget är priserna på fossila bränslen, som baseras på världsmarknadspriset och är gemensamma förutsättningar och exogent givna i båda modellerna. Däremot så beräknar TIMES-Sweden priset på el, fjärrvärme och biobränsle som bör överensstämma i de båda modellerna. Vi bedömer att det viktigaste priset som bör överensstämma är elpriset. För att få priset på el att överensstämma mellan de båda modellerna justeras EMEC:s kapitalavkastning i elproduktionen så att förändringen i elproduktionens marginalkostnad motsvarar prisetförändringen i TIMES-Sweden. Eftersom EMEC inte kan modellera all stort biobränsle utan bara skogsgreter har vi valt att inte vara lika rigida i vår konvergens av detta pris. Biobränsle i EMEC produceras av skogsbruket och i fasta proportioner i förhållande till total produktion. Ett sätt att justera priset på biobränsle är därmed att justera skogsbrukets produktionsandel av biobränsle. En annan möjlighet är att justera importtenden av biobränsle. I dessa iterationer är priset på biobränsle betydligt högre i EMEC jämfört med TIMES-Sweden och vi justerar så att andelen biobränsle av

skogsbrukets produktion höjs vilket sänker priset. Vi höjer även importtrenden så att andelen biobränsle importeras oavsett relativpriset mellan importerade och inhemskt producerade biobränslen. Biobränslepriset kan dock inte justeras ner till den nivå som ges av TIMES-Sweden men i möjligaste mån försöker vi justera så att viss konvergens sker. Detta iterativa förfarande fortgår till dess att resultaten mellan modellerna börjar konvergera. Eftersom modellerna är så pass olika i sin utformning och bygger på olika typer av data har vi valt att inte arbeta mot total konvergens. Redan efter 3-4 iterationer konvergerar resultaten så att förändringen i de flesta branscher är relativt liten. Namnen i boxarna i Figur 6 berättar vilken modell respektive scenario som har använts. Pilarna namnger resultatfilen ut från modellen. Resultatnamnens första bokstaver indikerar vilken typ av scenarioantagande som ligger till grund för körningen. I detta fall referensscenario antagande. E:et står för EMEC och T:et för TIMES-Sweden. Siffran framför i:en indikerar antalet iterationer i respektive modell.

Figur 6 Iterationsschema. Boxar indikerar modell och hexagoner indikerar mellanledsmodell



9.2 Utfall från iterationsprocessen

För båda modellerna innebär andra iterationen störst förändring för resultaten. Redan vid iteration 3 (RefE3iT2i och RefE3iT3i) har modellerna anpassats till varandra och endast små justeringar görs för att så långt som möjligt skapa konvergens mellan modellerna. Modellresultaten tolkas sedan från både ett ekonomiskt och ett teknisk-naturvetenskapligt perspektiv.

Det är viktigt att notera att projektets syfte är att utarbeta en fungerande metod snarare än att producera scenariorresultat, och de presenterade resultaten bör alltså främst ses som en illustration av dynamiken i mjuklänknings och hur respektive modells resultat påverkas i denna process. Detta innebär även att resultatredovisningen inte är lika omfattande som en gängse policyanalys med modellerna.

EKONOMISKA RESULTAT

För att illustrera effekten av mjuklänknings för den strukturella bilden i ekonomin ges i Tabell 10 skillnaden mellan modellresultaten innan mjuklänkning och efter mjuklänkning.

Tabell 10 Bruttoproduktion i fasta priser SEK

Årlig procentuell förändring 2008-2035

	Referensscenario utan länkning	Referensscenario med länkning
Jordbruk	1,5	1,2
Fiske	2,9	3,4
Skogsbruk	1,4	1,2
Gruvdrift	1,6	1,0
Övrig industri	0,9	0,6
Jord- och stenvaruindustri	0,8	0,3
Massa- och pappersindustri	0,6	-1,3
Läkemedelsindustri	3,0	3,2
Kemisk industri	3,0	1,3
Järn- och stålindustri	2,5	1,8
Metallvaruindustri	2,6	2,5
Verkstadsindustri	3,0	2,9
Vatten- och avloppsverk	2,1	2,1
Byggnadsindustri	1,9	1,8
Transportindustri, järnväg	2,6	3,0
Transportindustri, passagerare	2,0	3,3
Transportindustri, lastbil	1,8	1,7
Transportindustri, sjö	2,6	3,1
Transportindustri, flyg	3,7	4,8
Transportindustri, tjänster	3,2	3,2
Tjänstebanscher	1,9	1,8
Bostadssektorn	2,6	2,6
Offentlig sektor	0,8	0,8

De största skillnaderna återfinns i de energiintensiva branscherna där möjligheterna att minska energianvändningen enligt TIMES-Sweden inte är så stora som de antas i EMEC. Detta innebär att produktionskostnader på marginalen höjs då priset på energi ökar i förhållande till andra varor. Priset på branschens varor ökar därmed delvis och efterfrågan minskar som en konsekvens av ökade relativpriser. I slutändan leder detta till minskad produktion i jämförelse med en situation utan mjuklänkning. Inmallingen av ett högre elpris är dock den förändring som ger störst effekt på produktionen och påverkar främst massa- och pappersindustrin.

Transportbranschernas produktion ökar i iterationsprocessen som en följd av hur vi i EMEC har valt att kalibrera in TIMES-Swedens efterfrågan av privata transporter. Övergången från bensin- och dieslbilar till el¹⁰- och biobränsle drivna bilar ger en lägre rörlig kostnad för privatbilismen och när vi kalibrerar om nyttofunktionen blir andelen kollektiva färdmedel högre eftersom kollektivtrafik och privattrafik ligger på samma nästsningsnivå i nyttofunktionen. Ett alternativt sätt skulle kunna vara att anta

¹⁰ Elbilar har bara en marginell andel i referensscenariet, men att de kommer in får konsekvenser för körmönstret för hushåll med elbil. Lägre rörlig kostnad kan innebära fler körda mil.

att lägre mängd bränsle (bensin, el och bio) ger samma nytta och därmed påverkas endast mängden köpt bensin. Vi har provat båda angreppssätten men med den snabba minskningen av bensin och diesel som fås från TIMES-Sweden kan EMEC endast hitta en lösning för det första angreppssättet.

Mjuklänkningen förstärker trenden mot lägre industriproduktion. Transporternas andel av totala näringslivets förädlingsvärde ökar medan andelen tjänsteproduktion är i det närmaste oförändrad jämfört med modellresultat utan iteration. När produktionen går från de kapital- och energiintensiva branscherna, med relativt hög arbetsproduktivitet till transporter med lägre produktivitet ger detta en lägre BNP-tillväxt, se Tabell 11. Även investeringarna blir lägre med mjuklänkningen vilket påverkar mängden kapital i ekonomin och därmed BNP. Dessa mekanismer skulle vara intressanta att studera vidare, men ryms inte inom ramen för detta projekt, som ska fokusera på själva mjuklänkingsförfarandet.

Tabell 11 BNP och privatkonsumtion

Årlig procentuell förändring 2008-2035

	Referensscenario utan länkning	Referensscenario med länkning
BNP till marknadspris	2,0	1,8
Privat konsumtion	2,8	2,6

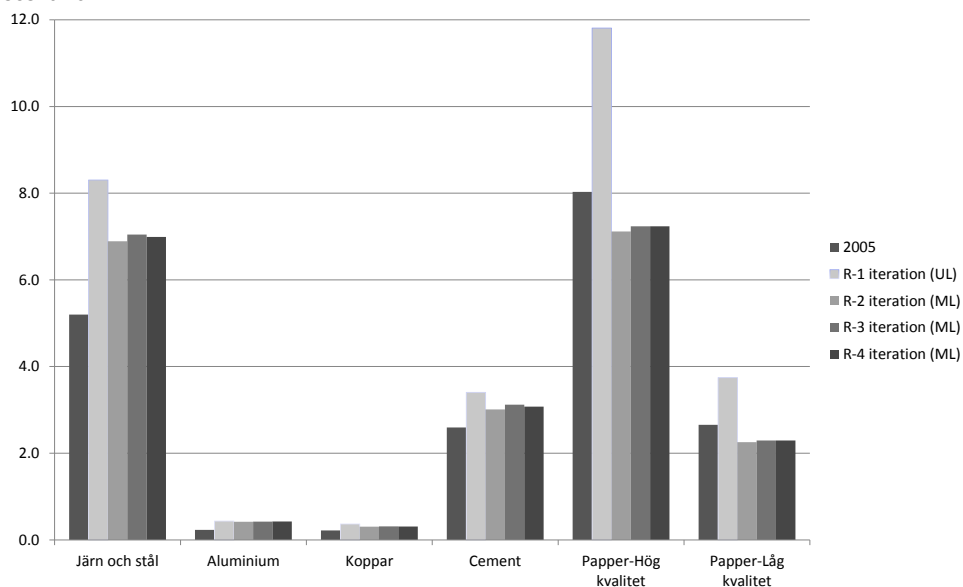
Som redan nämnts ska detta referensscenario inte ses som en långsiktspå prognos utan som ett sätt att illustrera effekten av mjuklänkningen mellan modellerna. Vanligtvis när ett referensscenario skapas i EMEC har man gjort prognoser med andra modeller angående exempelvis arbetsproduktivitet, offentlig sektors konsumtion och produktion och modelleraren har ofta även förutbestämd makroekonomisk bild som ska uppnås med hjälp av modellen. Modellen hjälper sedan att skapa en konsistent bild av ekonomin givet den makrobild som angivits från början vilket är i motsats till det scenario som bildats här där modellerna körts utan att vi har justerat några av de övriga exogena parametrarna. Bilden från TIMES-Sweden med högre elpris och högre energianvändning ger att BNP inte kan bli lika hög som i det ursprungliga referensscenariot. Samma BNP-tillväxt som i ursprungsscenarioet hade förmodligen varit möjlig att återskapa med t.ex. ökad arbetsproduktivitet i tjänstebanschererna.

EFTERFRÅGETJÄNSTER (EFTER MELLANLEDSMODELLEN)

Bruttoproduktionsförändringen från EMEC används i mellanledsmodellen för att beräkna utvecklingen av de efterfrågetjänster som finns specificerade i TIMES-Sweden. Utvecklingen av efterfrågetjänsterna ges sedan exogent som indata till TIMES-Sweden och förblir oförändrad efter optimeringen. Efterfrågetjänsterna för de energiintensiva sektorerna uttrycks som producerad mängd vara i Mega ton (Mt). Mellanledsmodellens resultat presenteras i Figur 7 och producerad mängd vara år 2005 (vilken är densamma för alla scenarion) presenteras även för att ge en referenspunkt. Precis som de ekonomiska resultaten visar ger mellanledsmodellen en stor reduktion av efterfrågetjänsterna för samtliga segment mellan den första och den andra iterationen. Vid de nästkommande iterationerna är förändringarna små. Resultaten oscillerar till viss del mellan andra och tredje och mellan tredje och fjärde iterationen vilket kan utläsas i Tabell 12.

Figur 7 Producerad mängd varor som input till TIMES-Sweden under respektive scenario.

Årlig producerad mängd i Mt år 2035 i respektive scenario, samt år 2005 som är lika för alla scenarion.



Tabell 12 Förändring i indata (producerad mängd vara) från föregående iteration, industriella segment i referensscenariot

Absolut värde för första iteration respektive procentuell från föregående iteration.

Input till TIMES Scenario ¹ :	R-1 iteration (UL) RefE1iT1i	R-2 iteration (ML) RefE2iT2i	R-3 iteration (ML) RefE3iT3i	R-4 iteration (ML) RefE4iT4i
IAL	0,4	-3,7%	1,1%	0,4%
ICH	63,5	-15,1%	-4,6%	2,2%
ICL	0,4	-15,1%	-4,6%	2,2%
ICM	3,4	-11,5%	3,6%	-1,5%
ICU	0,4	-17,0%	2,2%	-0,8%
IGF	0,5	-	-	-
IGH	0,2	-	-	-
IIS	8,3	-17,0%	2,2%	-0,8%
INF	4,0	-	-	-
INM	8,7	-	-	-
IOI	264,9	-3,1%	0,4%	0,0%
IPH	11,8	-39,7%	1,7%	0,0%
IPL	3,7	-39,7%	1,7%	0,0%
NEC	24,4	-	-	-
NEO	35,6	-	-	-
AGR	51,0	-5,7%	0,2%	0,1%
ONE	1,8	-	-	-

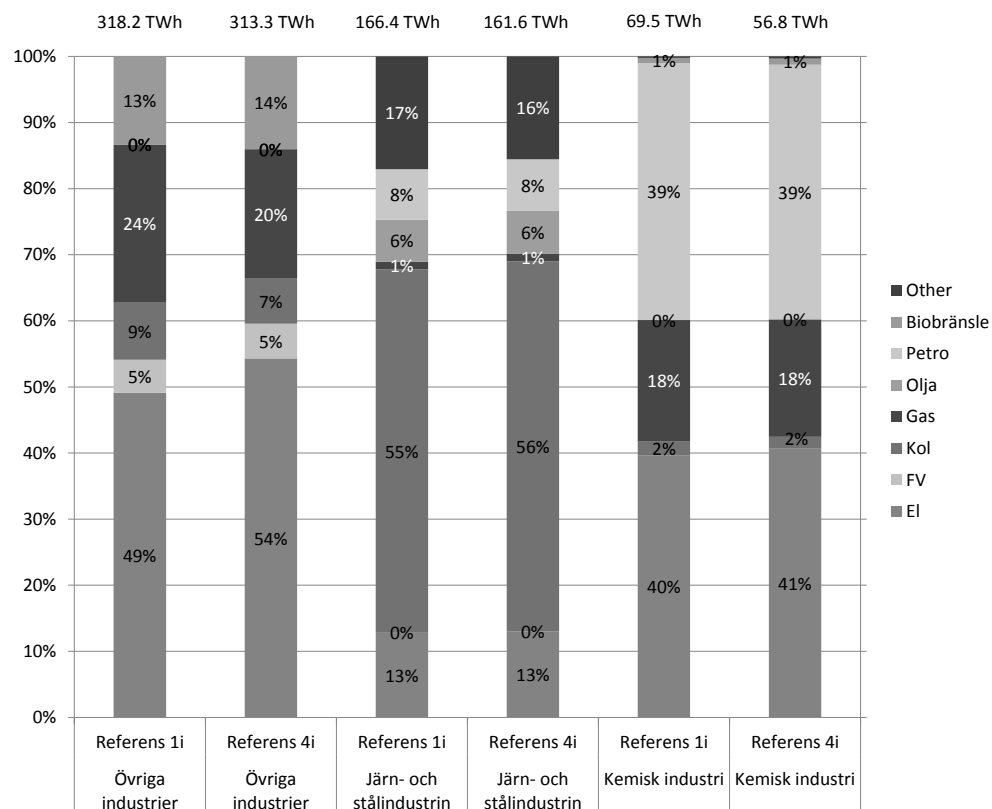
1 De olika efterfrågetjänsterna finns definierade i bilaga C.

ENERGIANVÄNDNING OCH KOLDIOXIDUTSLÄPP

Från TIMES-Sweden hämtar EMEC bränslemixen i total slutlig energianvändning (inköpt energi) per bransch. I Figur 8 jämförs energimixen i första och fjärde iterationen för tre olika branscher. I samtliga tre branscher har energianvändningen reducerats. För järn- och stålindustrin liksom för den kemiska industrin förändras inte energimixen nämnvärt när användningen reduceras. Medan för övriga industribranscher förändras energimixen. Den minskade energianvändningen leder till mindre användning av el, gas och kol.

Figur 8 Bränslemix respektive total slutlig energianvändning med respektive utan länkning vid referensscenariot i tre utvalda industrisektorer.

Total slutlig energianvändning i TWh, samt andel av respektive bränsle, år 2035.



Förändringen i absoluta värden presenteras i Tabell 13. Störst förändring sker i övriga industrier där kol och naturgas reduceras medan elanvändningen ökar (el har frigjorts från andra sektorer, då den generella efterfrågan har minskat från den första iterationen).

Tabell 13: Förändring i slutlig energianvändning (inköpt energi), utan respektive med länkning i referensscenariot (Referens 1i respektive Referens 4i).

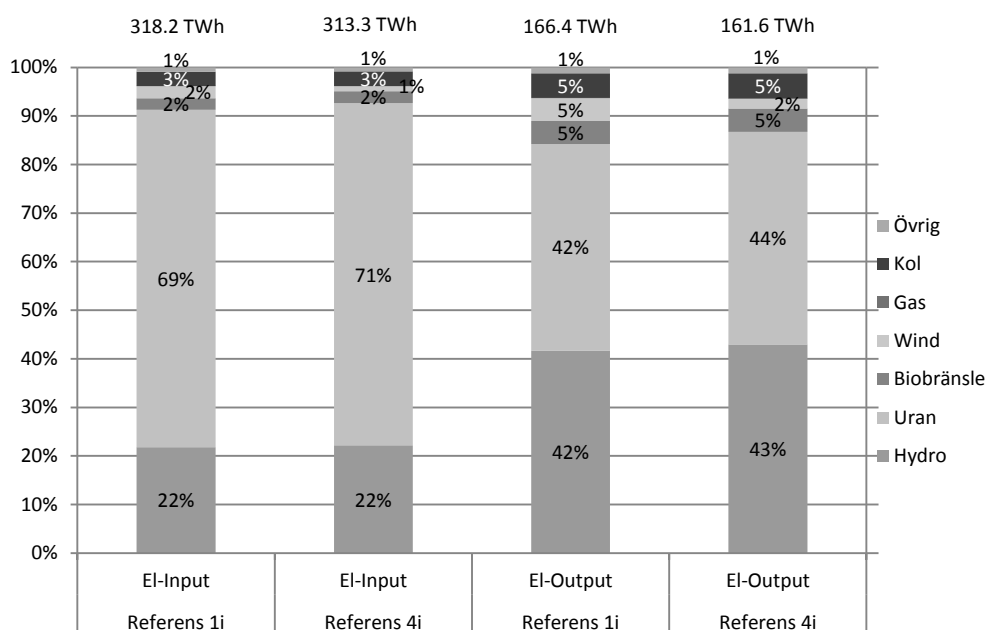
Skillnad i slutlig energianvändning år 2035, i TWh.

	Olja	Kol	Gas	El	FV	Biobränsle	Petro	Övriga
Övrig industrier	-	-6,2	15,2	7,1	0,0	-0,1	-	-
Jord- och stenvaruindustri	-0,1	-1,1	0,0	-0,8	-	0,0	-	-0,3
Massa- och pappersindustri	-	-	-0,6	13,4	-	-5,6	-1,0	0,2
Kemisk industri	-	-0,4	-2,7	-4,4	-	0,0	-5,1	0,0
Järn- och stålindustri	-1,4	-12,5	-0,3	-2,9	-	0,0	-1,7	-6,1
Metallvaruindustri	0,0	-0,1	-0,1	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0

Bränsle används ej markerats med "-".

Andelen bränsle vid generering av elektricitet (input) respektive andelen el från respektive bränsle (output) år 2035 vid första respektive fjärde iterationen av referensscenariot finns presenterade i Figur 9. Den lägre produktionsnivån i ekonomin mellan den första och den andra iterationen leder bland annat till en minskad efterfråga på elektricitet. Denna minskade efterfrågan leder till en reduktion av elektricitet framförallt från vindkraft, men det finns även en viss reduktion av elektricitet från kol. Elproduktion från resterande energislager håller sig på samma nivå i absoluta termer mellan första och fjärde iterationen. Input i Figur 9 representeras av slutlig energianvändning för elproduktion som procentuell andel per bränsle, samt total energianvändning. Output representeras av andelen el genererad från respektive energibärare, samt total elproduktion.

Figur 9 Andel bränsle i elgenerering (input) respektive andel el från respektive bränsle (output) år 2035 vid första respektive fjärde iterationen av referensscenariot.



Utsläppen av CO₂ i respektive iteration presenteras i Tabell 14. Resultaten visar att utsläppen följer variationerna i efterfrågan. Vid första iterationen minskas efterfrågan, vilket leder till minskade utsläpp. Störst är skillnaden i de energiintensiva branscherna, vilket leder till störst reduktion i den ETS-handlande sektorn.

Tabell 14 CO₂-utsläpp år 2035 i handlande respektive icke-handlande sektorn i referensscenariot.

Årligt CO₂-utsläpp i Mton.

	ETS-handlande sektorn (ETSCO2)	Icke ETS-handlande sektorn (NETSCO2)	Totalt
R-1 iteration (UL)	30,9	25,6	56,5
R-2 iteration (ML)	26,4	24,2	50,6
R-3 iteration (ML)	27,5	24,5	52,0
R-4 iteration (ML)	27,4	24,5	51,9

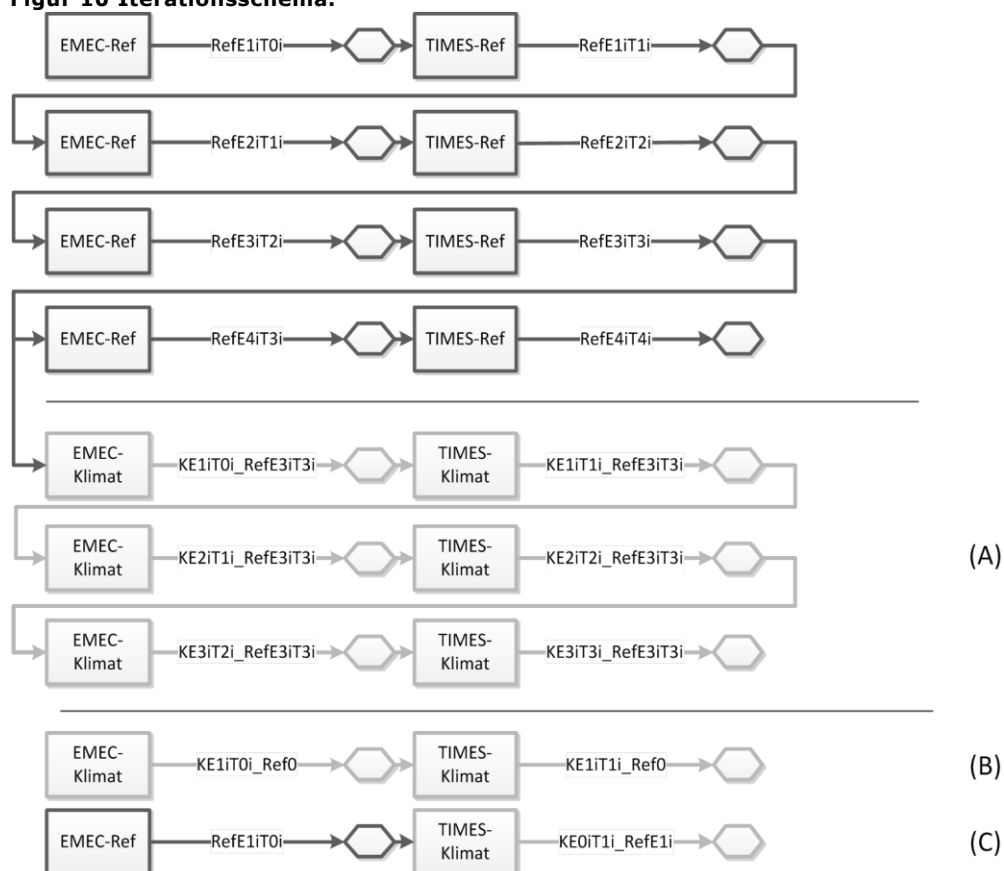
10 Steg 6 – Policyanalys illustrerat av ett Klimatscenario

För att illustrera mjuklänkingsförfarandet applicerat på ett policyscenario har vi valt att utforma ett klimatscenario där de två huvudsakliga styrmedlen ökar med cirka 50 procent. Mer specifikt ökar den nationella koldioxidskatten med 50 procent och priset inom EU ETS från 16 €/ ton CO₂ till 30 €/ton CO₂ fram till år 2020 och stannar på den nivån till 2035.

Skillnaden mellan iterationsprocessen i policyscenariot jämfört med referensscenariot är endast mellanledsmodellen för de branscher som inte är så detaljerat beskrivna i TIMES, det vill säga jordbruk, övriga branscher, kemi samt tjänstebanscher. I referensscenariot används den historiska utvecklingen mellan energianvändning och bruttoproduktion för att översätta EMEC:s resultat till energiefterfrågan för dessa branscher. I policyscenariot tar vi inte omvägen över bruttoproduktionen utan använder EMEC:s resultat för hur totala energiefterfrågan förändras för dessa branscher i förhållande till referensscenariots utveckling.

10.1 Iterativa processen

Utgångspunkten för iterationsprocessen är den ekonomiska bilden som utarbetats i referensscenariot med mjuklänkning (RefE4iT3i). Detta scenario används i EMEC tillsammans med de skatte- och avgiftshöjningar som ska studeras. Den nya ekonomiska bilden är sedan indata till TIMES-modellen. Iterationen fortgår i tre iterationer, se Figur 10 (A). Som jämförelse kommer två klimatscenarier utan länkning presenteras. Det ena baseras på EMEC-klimatscenario utan återkoppling med TIMES, se Figur 10 (B). Det andra baseras på EMEC referensscenario, det vill säga samma scenario som startar referensscenarioiterationen, se Figur 10 (C). Alternativ C speglar hur policyanalysen i energisystemmodeller ofta fortlöper.

Figur 10 Iterationsschema.

Första bokstaven indikerar vilken typ av scenario antagande som ligger till grund för körningen; referensscenario antagande eller klimatscenario antagande.

Ref: Referens scenario

K: Klimat scenario

E: EMEC

T: TIMES-Sweden

xi: iteration nr x

10.2 Utfall från iterationsprocessen

EKONOMISKA RESULTAT FRÅN KLIMATSCENARIOT

Om utgångspunkten för klimatscenarioet är det mjuklänkade referensscenarioet blir skillnaden i den ekonomiska strukturbilden mellan länkning eller utan länkning inte lika omfattande som i fallet med referensscenarioet, se Tabell 15. Vår tolkning är att genom mjuklänkningen av referensscenarioet har den ekonomiska modellen EMEC justerats till att efterlikna TIMES-Sweden. Högre energipriser i referensscenarioet har ställt in ekonomin till den produktion som är optimal enligt TIMES-Sweden och förändringar utifrån detta innebär endast justeringar jämfört med fallet då referensscenarioet mjuklänkas. Ny framtida teknologi har delvis redan kommit in i svensk ekonomi genom referensscenarioet. Trenden att energiintensiv industri påverkas mer av mjuklänkningen än övriga branscher gäller även i klimatscenarioet.

Skogsbruket utmärker sig med en betydligt högre tillväxt i fallet med mjuklänkning av klimatscenarioet. Skogsbruket blir i slutåret 12 procent högre än då modellerna inte mjuklänkas vilket är en konsekvens av att TIMES-Sweden beräknar en betydligt högre biobränsleanvändning jämfört med EMEC i klimatscenarioet.

Tabell 15 Bruttoproduktion i fasta priser SEK

Årlig procentuell förändring 2008-2035, respektive förändring mellan länkat och icke länkat scenario.

	Årlig procentuell förändring 2008-2035		Procentuell förändring
	Ke1iT0i_RefE3iT3i Klimatscenario utan länkning	KE3iTei_RefE3iT3i Klimatscenario med länkning	
Jordbruk	1,17	1,20	0,9
Fiske	3,37	3,35	-0,7
Skogsbruk	1,09	1,52	12,0
Gruvdrift	0,98	0,84	-3,7
Övrig industri	0,50	0,53	0,7
Jord- och stenvaruindustri	0,35	0,36	0,3
Massa- och pappersindu-	-1,23	-1,28	-1,4
Läkemedelsindustri	3,18	3,15	-0,8
Kemisk industri	0,63	0,71	2,2
Järn- och stålindustri	1,82	1,74	-2,1
Metallvaruindustri	2,49	2,36	-3,4
Verkstadsindustri	2,90	2,87	-0,7
Vatten- och avloppsverk	2,14	2,14	0,2
Byggnadsindustri	1,83	1,83	0,2
Transportindustri, järnväg	3,08	3,08	-0,1
Transportindustri, passa-	3,26	3,29	0,7
Transportindustri, lastbil	1,67	1,61	-1,5
Transportindustri, sjö	3,37	3,49	3,0
Transportindustri, flyg	5,15	5,34	5,1
Transportindustri, tjänster	3,27	3,23	-1,0
Tjänstebranscher	1,86	1,85	-0,2
Bostadssektorn	2,57	2,58	0,3
Offentlig sektor	0,78	0,78	0,0

Däremot ger ett mjuklänkingsförfarande av klimatscenarioet en helt annan bild av energiefterfrågan i EMEC. Detta gäller specifikt inom el- och fjärrvärmebranschen som använder mer biobränsle än i fallet utan länkning. Den minskade efterfrågan vid mjuklänkning leder till att total inköpt energi minskar för el- och fjärrvärmeverk. Ytterligare en viktig skillnad mellan mjuklänkning och inte mjuklänkning är att transportbranschernas insatsstruktur förändras när diesel och bensin byts ut. Att ny teknik som baseras på helt andra insatsvaror kommer in och ersätter gammal teknik är något som EMEC inte kan modellera utan hjälp av mjuklänkningen.

En faktor, som vi i dagsläget inte kan ta hänsyn till, som troligtvis skulle förstärka skillnaden vid mjuklänkningen är förändrat investeringsmönster. Exempelvis kan ökade investeringar i el- och fjärrvärmeverken innebära stora förändringar jämfört

Tabell 16 Förändring i indata (producerad efterfrågetjänst) från föregående iteration, industriella segment under klimatscenariot.

Absoluta värden för Klimat scenariot utan länkning (UL) och för första iterationen (ML), respektive procentuell förändring från föregående iteration.

TI-MES ¹ :	Klimat UL- Klimat RefE1iT0i	Klimat UL- Ref KE1iT1i_Ref0	K-1 iteration KE1iT1i_Ref0	K-2 iteration KE2iT2i_ RefE3iT3i	K-3 iteration KE3iT3i_ RefE3iT3i
IAL	0,4	0,4	0,4	-2,8%	-0,5%
ICH	63,4	63,5	48,0	2,9%	0,1%
ICL	0,4	0,4	0,3	2,9%	0,1%
ICM	3,3	3,4	3,1	0,2%	0,0%
ICU	0,4	0,4	0,3	-2,1%	0,2%
IGF	0,5	0,5	0,5	-	-
IGH	0,2	0,2	0,2	-	-
IIS	8,2	8,3	7,1	-2,1%	0,2%
INF	4,0	4,0	4,0	-	-
INM	8,7	8,7	8,7	-	-
IOI	264,5	264,9	252,6	-2,4%	0,2%
IPH	11,7	11,8	7,4	-1,7%	0,5%
IPL	3,7	3,7	2,3	-1,7%	0,5%
NEC	24,4	24,4	24,4	-	-
NEO	35,6	35,6	35,6	-	-
AGR	50,3	51,0	46,0	1,7%	0,4%
ONE	1,8	1,8	1,8	-	-

Anm. Ingen skillnad markeras med "-".

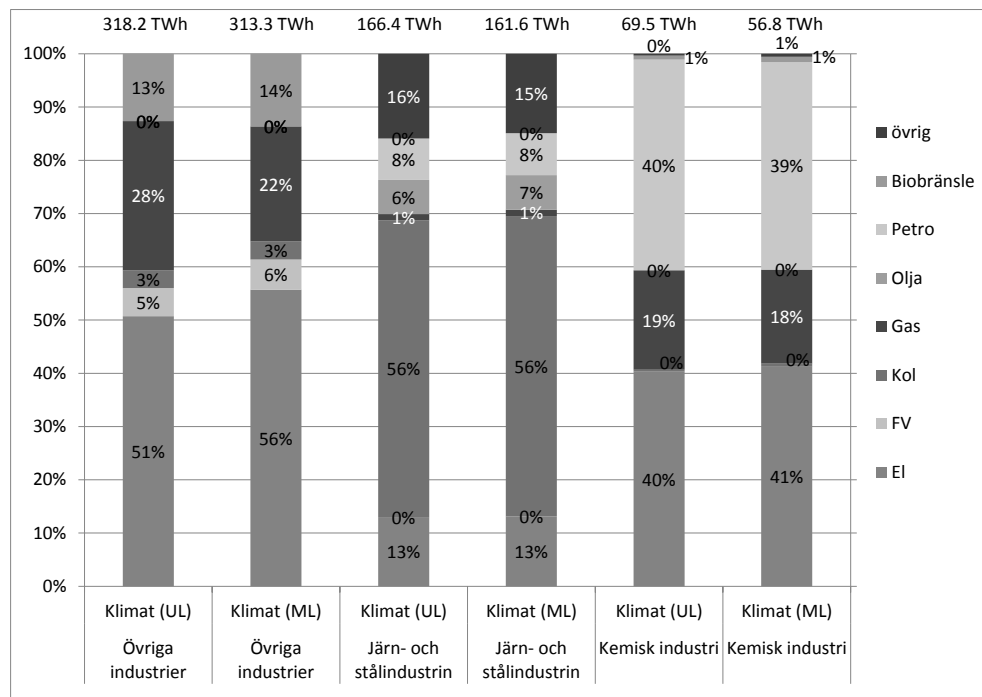
1) De olika efterfrågetjänsterna finns definierade i bilaga C.

ENERGIANVÄNDNING OCH KOLDIOXIDUTSLÄPP I KLIMATSCENARIOT

Från TIMES-Sweden hämtar EMEC bränslemixen i total slutlig energianvändning (inköpt energi) per bransch. I Tabell 12 jämförs energimixen i klimatscenariot med och utan länkning för tre olika branscher. I samtliga tre branscher har energianvändningen reducerats. För järn- och stålindustrin liksom för den kemiska industrin förändras inte energimixen nämnvärt när användningen reduceras. Medan för övriga industribranscher förändras energimixen. Den minskade energianvändningen leder liksom i referensscenarioiterationen till mindre användning av el, gas och kol, men minskningen av kol är betydligt lägre och av naturgas betydligt högre. Detta har att göra med att det finns mindre kol och mer naturgas i klimatscenariot redan utan länkning.

Figur 12 Bränslemix respektive total slutlig energianvändning med respektive utan länkning vid klimatscenario i tre utvalda industrisektorer.

Total slutlig energianvändning i TWh, samt andel av respektive bränsle, år 2035.



Tabell 17 visar förändringen i slutlig energianvändning (inköpt energi), utan respektive med länkning i klimatscenario. Störst förändring sker i övriga industrier. Till skillnad från referensscenariot där kol och naturgas reduceras medan elanvändningen ökar sker det framförallt en minskning av naturgas. Anledningen är att kolanvändningen redan har reducerats utan länkning (då CO₂-priset är högre jämfört med referensscenariot). Även elen är värderad högre i ett klimatscenario, vilket förklarar varför inte el ökar i samma utsträckning som i referensiterationen.

Tabell 17 Förändringen i slutlig energianvändning (inköpt energi), utan respektive med länkning i klimatscenariot (Klimat UL-klimat respektive Klimat ML). För jämförelse finns även totalförändring vid iterationen av referensscenariot.

	Olja	Kol	Gas	El	FV	Bio-bränsle	Petro	Övriga
Övriga industrier	-	-0.4	-21.6	3.3	0.0	0.2	-	-
Jord- och stenvaru-industrin	-0.1	-0.6	0.0	-1.0	-	0.0	-	-0.2
Massa- och pappersindustrin	-	-	-0.6	-13.1	-	-5.4	-1.0	-
Kemisk industri	-	0.0	-3.4	-5.6	-	0.0	-6.4	0.1
Järn- och stålindustrin	-1.4	-12.0	-0.3	-2.8	-	-	-1.7	-4.8
Metallvaruindustrin	0.0	-0.1	-0.1	-0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
Total (klimatscenario)	-	1.5	-13.0	-26.0	-19.4	0.0	-5.2	-9.0
Total (referensscenario)	-	1.6	-20.4	-18.9	-14.7	0.0	-5.7	-6.1

Anm. Bränsle används ej markeras med "-".

Utsläppen av CO₂ i respektive iteration för referensscenariot presenteras i Tabell 18, samt för klimatscenerierna i Tabell 19. Resultaten visar att utsläppen följer variationerna i efterfrågan. Precis som vid iterationen med referensscenariot så sker den stora skillnaden av CO₂ i de energiintensiva branscherna vilket leder till störst reduktion i den ETS-handlande sektorn. Värt att uppmärksamma är att mängden koldioxid i ett klimatscenario baserat på EMEC:s referensscenario överskattar mängden CO₂-utsläpp, då den helt saknar återkopplingen från ökade CO₂-kostnader för den övriga ekonomin.

Tabell 18 CO₂-utsläpp år 2035 i handlande respektive icke-handlande sektorn för varje iteration i referensscenariot.

Årligt CO₂ utsläpp i Mton.

	ETS-handlande sektorn (ETSCO ₂)	Icke ETS-handlande sektorn (NETSCO ₂)	Totalt
R-1 iteration (UL)	30,87	25,62	56,50
R-2 iteration (ML)	26,41	24,23	50,64
R-3 iteration (ML)	27,49	24,49	51,98
R-4 iteration (ML)	27,36	24,53	51,89

Tabell 19 CO₂-utsläpp år 2035 i handlande respektive icke-handlande sektorn för varje iteration i klimatscenariot,

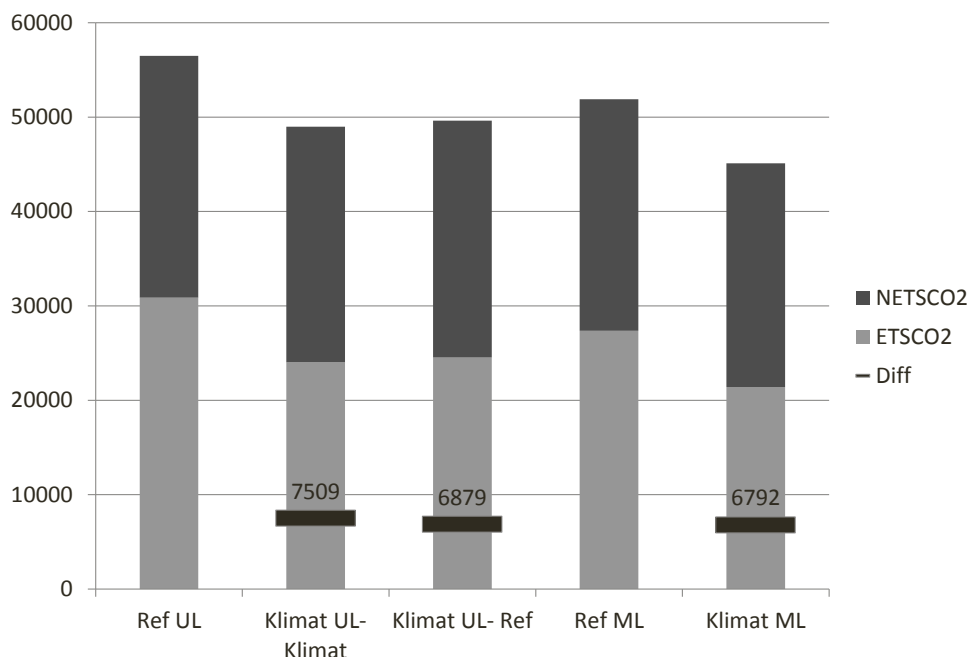
Årligt CO₂ utsläpp i Mton,

	ETS-handlande sektorn (ETSCO ₂)	Icke ETS-handlande sektorn (NETSCO ₂)	Totalt
K-1 iteration (UL Ref)	24,53	25,08	49,62
K-1 iteration (UL Klimat)	24,03	24,96	48,99
K-2 iteration (ML)	21,65	23,81	45,46
K-3 iteration (ML)	21,39	23,65	45,04
K-4 iteration (ML)	21,41	23,69	45,10

Effekterna på CO₂-utsläppen Utan länkning (UL) respektive med mjuklänkning (ML)

Figur 13 visar utsläppen av CO₂ år 2035 för respektive scenario. Resultatet visar tydligt att mängden CO₂ är betydligt lägre i scenarion med mjuklänkning jämfört med motsvarande scenario utan mjuklänkning (Ref UL jämfört med Ref ML, Klimat UL jämfört med Klimat ML) som en följd av en lägre efterfråga på energitjänster. I figuren jämförs även CO₂-reduktionen från referens- till klimatscenario (svart markering). Den relativa förändringen i CO₂-utsläpp mellan referensscenario och klimatscenario är i stort sett densamma med och utan länkning när man utgår från ett icke-länkat klimatscenario i EMEC; ”reduktion UL-Klimat” (13,3) jämfört med ”reduktion ML” (13,1), medan den absoluta skillnaden är större utan länkning. Om efterfrågan istället är baserat på EMEC:s referensscenario blir den relativa skillnaden större; ”reduktion UL-Klimat” (12,2) jämfört med ”reduktion ML” (13,1) medan den absoluta skillnaden är nästan densamma. Om de sektorerna som ingår i ETS analyseras separat, se tabell 20, ses en större variation mellan de olika angreppssätten. Då det är denna typ av mekanism som TIMES-Sweden är ägnad att analysera, finns det fog att tro att mjuklänkning har betydelse för resultatet. En djupare analys av vad som händer vore intressant, men är utanför ramen för detta projekt. Skulle istället konsekvenserna av ett CO₂-mål analyseras genom att ett CO₂-tak definieras, så skulle skillnaderna mellan ett länkat respektive icke länkat förfarande med stor sannolikhet vara större då den absoluta CO₂-nivån är signifikant lägre vid mjuklänkning.

Figur 13 CO₂-utsläpp för hela energisystemet år 2035 under respektive scenario.
Årligt CO₂-utsläpp i 1000 ton i respektive scenario, samt reduktion från respektive referensscenario i 1000 ton.



Tabell 20 CO₂-utsläpp år 2035 i handlande respektive icke-handlande sektorn utan länkning (UL) och med mjuklänkning (ML). Klimatscenarioet UL presenteras i två olika versioner baserat på EMEC klimatscenario och med EMEC referensscenario.

Årligt CO₂ utsläpp i Mton, och årlig reduktion från referensscenarioet i Mton och %.

	ETS-handlande sektorn (ETSCO2)	Icke ETS-handlande sektorn (NETSCO2)	Totalt
REF UL-Ref	30,9	25,6	56,5
Klimat UL-Ref	24,5	25,1	49,6
<i>Reduktion UL-Ref</i>	<i>6,3(20,5%)</i>	<i>0,5(2,1%)</i>	<i>6,9(12,2%)</i>
REF UL-Klimat	30,9	25,6	56,5
Klimat UL-Klimat	24,0	25,0	49,0
<i>Reduktion UL-Klimat</i>	<i>6,8(22,2%)</i>	<i>0,7(2,6%)</i>	<i>7,5(13,3%)</i>
REF ML	27,4	24,5	51,9
Klimat ML	21,4	23,7	45,1
<i>Reduktion ML</i>	<i>5,9(21,7%)</i>	<i>0,8(3,4%)</i>	<i>6,8(13,1%)</i>

Det bör dock påpekas att fokus på studien är att tekniskt beskriva hur mjuklänkning-
en kan gå till och att resultaten bara bör ses som illustrativa exempel. Vi har inte ut-
värderat rimligheten i scenarierna.

11 Diskussion, slutsatser och fortsatt arbete

Mjuklänkingsprocessen som presenterats i denna rapport visar vikten av att mjuklänka en energisystemmodell med en makroekonomisk modell när man studerar energi- och klimatpolitiska styrmedel. Med samma exogena parametrar ger mjuklänkningen mellan modellerna en ny bild av ekonomin och energisystemet år 2035 jämfört med hur bilden såg ut utan mjuklänkningen. Precis som i Labandeira m.fl. 2009 uppnår vi inte fullständig konvergens med vår mjuklänkingsansats. Vi anser dock att de båda modellernas resultat genomgår en förändring via mjuklänkingsansatsen som innebär att de i slutändan beskriver en likvärdig bild av svensk ekonomi och energisystemet och därmed har skillnaderna minimerats mellan modellresultaten. De båda modellerna är efter mjuklänkningen fortfarande individuellt konsistenta men något bevis för konsistens mellan modellerna finns inte då det inte går att hitta exakta översättningsparametrar. Vi anser dock att fullständig konsistens mellan modellerna inte går att uppnå då modellerna bygger på olika statistisk grund (energistatistik och nationalräkenskaperna) vilket innebär många överlappande domäner. Att hitta fullständig konsistens mellan modellerna är därför inte möjligt utan att förenkla någon av modellerna. En sådan förenkling skulle gå emot projektets centrala forskningsfråga som är att undersöka hur modellerna kan samverka för att bidra till att såväl kvalitativ som kvantitativt förbättra det beslutsunderlag som modellerna bidrar till.

Vårt att lyfta fram är att även om modellerna inte mjuklänkas så bör efterfrågan i energisystemmodellen spegla den aktuella politiken som analyseras. Traditionellt används samma efterfrågescenario (vanligtvis baserat på ett ekonomiskt referensscenari) vid olika policyanalyser i energisystemmodeller, då man ofta inte har tillgång till direkt kommunikation med en allmänjämviktsmodell. Skillnaden mellan scenarierna är istället miljömål och/eller politiska styrmedel. Vår analys visar vikten av att även beakta hur scenarioantagandena påverkar efterfrågan.

En av de största utmaningarna har varit konverteringen mellan faktiska nivåer och förändringstakter. Modellerna använder faktiska nivåer medan konverteringen sker i förändringstakter. Detta är en konsekvens av att modellerna modellerar i olika enheter (fysiska enheter och monetära enheter) samt att priserna i EMEC är relativpriser medan TIMES-Swedens priser är absoluta nivåer. En annan utmaning har varit överföringen av elpriset, vilket är en viktig komponent vid kalibreringen av referensscenariot i EMEC. Eftersom TIMES-Sweden, i de undersökta scenarierna, påvisar högre elpris än i EMEC ger mjuklänkningen större negativ inverkan på de energiintensiva branscherna så som bland annat massa- och pappersindustrin.

Ytterligare en central skillnad gällande elpriset är att EMEC använder sig av ett årligt elpris medan TIMES-Sweden har 12 olika prissteg/perioder och olika sektorer. Vid översättningen från TIMES till EMEC har vi använt prisskillnaden under hösten mellan år 2010 till 2035. Förutom att val av prissteg kan utredas ytterligare finns ett ännu större dilemma. TIMES-Sweden representerar skuggpriset, det vill säga vad det kostar att använda ytterligare en enhet el under respektive prissteg/period. För år 2010 representerar det vad det kostar att köra existerande anläggningar en enhet till, det vill säga i teorin spotpriset. För år 2035 kan en ökning av elanvändningen leda till investering i ny kapacitet, vilket då inkluderas i skuggpriset. Om ingen ny investering erfordras för att möta den ökade efterfrågan inkluderas ingen investeringskostnad i skuggpriset, det vill säga skuggpriset år 2035 inkluderar samma parametrar som år 2010. Existerande anläggningsvärde är inte inkluderat i modellen, däremot inkluderas investeringskostnader för framtida anläggningar. Detta behöver inte bli en motsättning, men bör utredas vidare.

Nackdelen med mjuklänkingsansatsen är att processen är relativt tidskrävande. Även om vi försökt underlätta processen genom att införa mellanledsmodellerna kräver varje iteration ett visst mått av manuellt justerande vilket tar tid. Vi uppskattar att

varje iteration tar upp till en arbetsdag att genomföra med alla moment, givet att hela systemet är riggat för ett specifikt scenario. Att sedan göra om samma iterationsrunda går emellertid betydligt snabbare. Tidsåtgången är överkomlig och nackdelen övervägs av att man samtidigt får en viss kvalitetskontroll och framförallt är förfarandet betydligt snabbare än Energimyndighetens nuvarande prognosprocess.

Som nämnts tidigare är investeringsefterfrågan inte kalibrerad mellan de två modellerna. Vid stora omställningar av ekonomin, så som vid en radikal minskning av användningen av fossila bränslen, kan förändrade investeringsbehov per producerad enhet bli så stora att de påverkar totala investeringsbehovet och ger allmänjämviktseffekter på hela ekonomin. Detta gäller speciellt för förändrade teknologier inom el- och fjärrvärmeproduktionen. Ett sätt att möjliggöra överföring av information från TIMES-Sweden till EMEC angående förändrad insatsstruktur inom el- och fjärrvärme är att disaggregera branscherna el- och fjärrvärme så att varje teknologi beskrivs explicit. Detta innebär att EMEC utvecklas till en hybridmodell. I nuvarande version av EMEC beskrivs elproduktionen med hjälp av endast en aggregerad kontinuerlig produktionsfunktion, där anpassning sker gradvis när priserna på insatsvaror förändras. Detta är i kontrast till TIMES där varje kraftproduktionsteknologi beskrivs detaljerat och anpassning sker diskontinuerligt på basis av ett kostnadsminimeringsproblem. Förändringen skulle innebära att elbranschen från nationalräkenskaperna delas upp i två huvudgrupper: elproduktion och eldistribution samt ”overhead” kostnader. Elproduktionen i sin tur beskrivs sedan av olika tillgängliga teknologier för elproduktion, exempelvis vattenkraft, kärnkraft, vindkraft, kraftvärmeverk elproduktion biobränsle, kraftvärmeverk elproduktion olja, kraftvärmeverk elproduktion kol och kraftvärmeverk elproduktion naturgas.

Med en sådan utvidgning blir EMEC mer detaljrik gällande elproduktionen. Trots detta kommer EMEC inte att kunna modellera energisystemet på samma detaljnivå och precision som TIMES-Sweden. Utvidgningen av EMEC till en hybridmodell kan dock vara ett steg i processen mot att skapa en förbättrad mjuk länk mellan EMEC och TIMES och möjliggöra att förändringar i insatsstrukturen i el- och fjärrvärmeproduktionen avspeglas på likande sätt i de båda modellerna, det vill säga med hjälp av en disaggregerad elproduktion i EMEC blir modellernas komparabilitet större och modellresultat från den ena modellstrukturen kan lättare föras in i den andra modellen.

Även förändringar i TIMES-Sweden skulle kunna utföras för att förbättra mjuklänkingsförfarandet. En viktig utvidgning är att koppla underhållskostnaderna i TIMES-Sweden till antal anställda. På det sättet skulle en eventuell konkurrens om arbetskraft fångas upp och förväntad löneförändring i EMEC-modellen kunna kopplas till ökade underhållskostnader.

Från översikten av litteraturen har vi identifierat flera miljöer som utfört olika typer av länkning av ekonomiska modeller med energisystemmodeller. Däremot saknades det handfasta beskrivningar av själva förfarandet och dess utmaningar – vad som är svårt att översätta och vägar att hantera detta. Här tror vi vår studie kan bidra. Därför bör ett framtida steg vara att skriva artiklar för publikation i vetenskapliga tidskrifter. Därigenom får arbetet även en opartisk kvalitetsgranskning. Artikel bör inkludera en beskrivning av mjuklänkingsansatsen samt policyrelevanta analyser som påvisar ekonomiska- och energisystemeffekter av vägen till ett mer koldioxidsnålt samhälle. Detta kräver en ännu djupare analys av resultaten och mer utarbetade policyrelevanta scenarier.

Sammanfattningsvis har vi således genom att identifiera skillnader och likheter mellan modellerna funnit ett sätt på vilket de kan mjuklänkas, samt en robust och väl fungerande metod för att översätta modellresultaten mellan modellerna. På så sätt har projektet skapat en god förståelse för hur modellerna på ett transparent sätt kan samverka, med respektive modellers styrkor bibehållna, för att ge en avsevärt bättre bild

av såväl flödena i ekonomin inklusive energisystemet som kostnader och konsekvenser av energipolitiska styrmedel. Vi tror dock att denna process kan förfinas ytterligare för att mjuklänkningen ska ge bästa möjliga underlag, vilket i så fall bör ske i tätare samarbete med Energimyndigheten.

Syntesen av arbetet är att även om det finns områden som bör förfinas så visar vi att mjuklänkningen mellan modellerna fungerar och att länkningen redan efter ett antal iterationer på ett markant sätt påverkar resultatet av respektive modell. Den i projektet utarbetade ansatsen ger resultat som stärker underlagen i beslutsprocesser, vilket indikerar att den också bör användas i dessa.

12 Referenser

- Bauer N., O. Edenhofer, S. Kypreos (2007), "Linking energy system and macroeconomic growth models", *Computational Management Science*, Vol. 5(1), pp. 95-117.
- Böhringer C. (1998). "The synthesis of bottom-up and top-down in energy policy modeling". *Energy Economics* **20**: 233-248.
- Böhringer C., Rutherford T.F. (2008), "Combining Bottom-Up and Top-Down", *Energy Economics*, Vol 30 (2), pp 574-596.
- Böhringer C., Rutherford T.F. (2009). "Integrated assessment of energy policies: Decomposing top-down and bottom-up". *Journal of Economic Dynamics & Control* **33**: 1648–1661.
- Chen W, Wu Z, He J, Gao P, Xu S (2007). Carbon emission control strategies for China: A comparative study with partial and general equilibrium versions of the China MARKAL model. *Energy* **32**: 59–72.
- Drouet, L., A. Haurie, M. Labriet, P. Thalmann, M. Vielle, and L. Viguier, (2005). "A Coupled Bottom-up /Top-Down Model for GHG Abatement Scenarios in the Swiss Housing Sector" in R. Loulou, J.P Waaub, and G. Zaccour eds, *Energy and Environment*, Cambridge, 2005 pp27-62.
- Frei C.W., Haldi P-A., Sarlos G. (2003). "Dynamic formulation of a top-down and bottom-up merging energy policy model". *Energy Policy* **31**: 1017–1031.
- Hourcade, J-C., M. Jaccard, C. Bataille, F. Ghersi (2006), "Hybrid Modeling: New Answers to Old Challenges. Introduction to the Special Issue of the Energy Journal". *The Energy Journal*, Special issue pp. 1-12.
- Jacobsen H.K. (1998). "Integrating the bottom-up and top-down approach to energy-economy modelling: the case of Denmark". *Energy Economics* **20**: 443-461.
- Jansson J. och R. Wall (1994), *Bensinskatteförändringars effekter*. Finansdepartementet DS 1994:55 (ESO-rapport).
- Johnsen, T.A., Unander, F.F. (1996), "Norwegian residential energy demand: Coordinated use of a system engineering and a macroeconomic model", *Modeling Identification and Control*, 17, 183-192.
- Knopf B., O. Edenhofer, N. Bauer, L. Baumstark, M. Leimbach (2008): Why Hybrid models are the way to go for assessing climate policies. Paper presented at the Eco-Mod Conference in Berlin, Germany, July 2-4, 2009.
- Konjunkturinstitutet (2012), *Svensk ekonomi – ett långsiktsscenario fram till år 2035*. Specialstudier nr 30, Konjunkturinstitutet.
- Kumbaroğlu, G., Madlener, R. (2003). "Energy and climate policy analysis with the hybrid bottom-up computable general equilibrium model SCREEN: The case of the Swiss CO2 act", *Annals of Operations Research* **121**, 181-203.
- Kypreos, S. (1998). "Assessment of CO₂ reduction policies for Switzerland". *International Journal of Global Energy Issues* **12**: 233-243.
- Kypreos S. och D. Van Regemorter (2006), Key Drivers for Energy Trends in EU; Specification of the Baseline and Policy Scenarios. NEEDS project, Working Paper RS2, WP2.3. http://www.needs-project.org/RS2a/Baseline%20Scenario_12_1_2006.pdf
- Labandeira X., Linares P., and M. Rodríguez (2009), "An Integrated Approach to Simulate the Impacts of Carbon Emission Trading Schemes", *The Energy Journal*, Vol. 30, 2, pp 217-237.

- Loulou, R. Remne, U., Kanudia, A. Lehtila, A, Goldstein, G, (2005), Documentation for the TIMES Model- Part 1. <http://www.iea-etsap.org/web/Documentation.asp>
- Manne, A., Wene, C.-O. (1992), "MARKAL-MACRO: A linked model for energy-economy analysis", Brookhaven National Laboratory.
- Manne, A. (1977), "ETA-MACRO; a model for energy economy interactions". Technical Report, Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA.
- Manne, A., Mendelsohn, R., Richels, R. (2006), "MERGE: a model for evaluating regional and global effects of ghg reduction policies". *Energy Policy* **23**, 17-34.
- Martinsen T. (2011), "Introducing technology learning for energy technologies in a national CGE model through soft links to global and national energy models". *Energy Policy* **39**, 3327-3336.
- Mathiesen, L. (1985), "Computation of economic equilibrium by sequence of linear complementarity problems". *Mathematical Programming Study* **23**, 144-162.
- McFarland, J.R., Reilly, J.M., Herzog, H.J. (2004), "Representing energy technologies in top-down models using bottom-up information". *Energy Economics* **26**, 685-707.
- Messner S. and L. Schratzenholzer (2000), "MESSAGE-MACRO: linking an energy supply model with a macroeconomic module and solving it iteratively". *Energy* Vol. 25 pp 267-282.
- Remme U., M. Blesl (2006), Documentation of the TIMES-MACRO model, Energy Technology Systems Analysis Programme. <http://www.etsap.org>
- Rutherford, T.F. (1995), "Extensions of GAMS for complementarity problems arising in applied economic analysis" *Journal of Economic Dynamics and Control*, **19**, sid 1299-324
- Schäfer, A., Jacoby, H.D. (2006), "Experiments with a Hybrid CGE-MARKAL Model". *The Energy Journal*, Special Issue, pp. 171-177
- SIKA (2002), Översyn av samhällsekonomiska metoder och kalkylvärden på transportområdet, SIKA 2002:19
- Sue Wing I. (2006). "The synthesis of bottom-up and top-down approaches to climate policy modeling: Electric power technologies and the cost of limiting US CO2 emissions". *Energy Policy* **34**: 3847–3869.
- Sue Wing I. (2008). "The synthesis of bottom-up and top-down approaches to climate policy modeling: Electric power technology detail in a social accounting framework". *Energy Economics* **30**: 547–573.
- Söderholm P., Mansikkasalo A. och T. Ejdemo (2009), Energisystemets långsiktiga utveckling. En granskning av Energimyndighetens metodik för långsiktiga energiscenarier, Luleå tekniska universitet.
http://www.energimyndigheten.se/Global/Energifakta/Prognoser/Prognosrapport-dec09_slutrapport.pdf
- Wene, C-O (1996), "Energy-economy analysis: linking the macroeconomic and systems engineering approaches", *Energy*, Vol. 21, pp 809-824.
- VTI (2006), Hur hushållen anpassar sig till ändrade kostnader för bilinnehav och bilanvändning? VTI rapport 545.
- Östblom G. and C. Berg (2006), The EMEC model: Version 2.0, Working Paper No. 96, Konjunkturinstitutet.

13 Bilaga A Litteraturgenomgång

Nedan följer en litteraturgenomgång uppdelat på de två länkningsangreppssätten.

13.1 Mjuklänkning

Mjuklänkning innebär att en makroekonomisk TD-modell och en energisystemanalytisk BU-modell samkörs i en iterativ process till dess att konvergens i centrala parametrar uppnås (t.ex. pris- och kvantitetparametrar) (Kumbaroğlu och Madlener, 2003). Mjuklänkning innebär att modellerna i stor utsträckning kan behålla sitt ursprungliga utförande, men som kritik mot ansatsen har framförts att det kan bli svårigheter att uppnå överensstämmelse mellan modellerna då skillnaderna i struktur och metodik ofta är stora (Böhringer och Rutherford, 2009).

I en spansk studie (**Labandeira m.fl., 2009**), har en statisk allmänjämviktsmodell, som beskriver den spanska ekonomin, mjuklänkats med en BU-modell, som beskriver den nationella elektricitetsmarknaden, för att kunna analysera de samhällsekonomiska effekterna av förändringar i EU:s handelssystem för utsläppsätter. Den integrerade modellanalysen ger både energimodellens detaljerade resultat för elmarknaden (produktionsstruktur och prisbildning) samt allmänjämviktsmodellens effekter på samhällsekonomin. Studien jämför även resultaten mellan den ursprungliga allmänjämviktsmodellen och den integrerade modellen. I referensscenariot, med nuvarande styrmedel, ger den integrerade modellen högre pris på elektricitet än med den ursprungliga allmänjämviktsmodellen. Olika pris på elektricitet ger effekt på BNP och välfärd då el blir dyrare jämfört med andra energislag. Skillnaden mellan resultaten från den integrerade modellen och den ursprungliga allmänjämviktsmodellen är emellertid små gällande förädlingsvärde för metallindustrin, metallurgiska produkter och oljeindustrin trots att dessa branscher använder mycket elektricitet. Modellernas resultat skiljer sig dock mycket åt gällande efterfrågan av el-, gas-, kol- och byggnadsindustrin.

Studiens mjuklänkning utgörs av en iterativ process med dubbelriktat flöde mellan BU- och TD-modellen. Iterationen inleds med att köra allmänjämviktsmodellen med exogent bestämda scenarieförutsättningar. Resultaten från allmänjämviktsmodellen gällande nivån på elektricitetsefterfrågan, energivarupris och utsläppshandelspris matas därefter in i elsektorsmodellen. Resultaten från elsektorsmodellen, i form av elpris och elsektorns energianvändning, kan inte direkt matas in i allmänjämviktsmodellen på grund av modelltekniska skäl. Istället omkalibreras allmänjämviktsmodellen via produktivitetsförändringar i elsektorns bränsleanvändning för att i möjligaste mån replikera elsektorsmodellen. De ursprungliga substitutionselasticiteterna ändras i och med omkalibreringen. Denna process återupprepas tills dess att konvergens sker och priserna som ges från elsektorsmodellen reproduceras via allmänjämviktsmodellen som en jämviktslösning. Författarna medger att fullständig konvergens inte uppnås men de anser att felet blir tillräckligt litet. Författarna anser att processens tidsåtgång är en av nackdelarna med den iterativa processen. Ytterligare en nackdel är att processen inte ger ett rigoröst bevis för konvergens. Däremot anser de att resultaten är mer trovärdiga jämfört med resultat från att enbart använda sig av en allmänjämviktsmodell.

Messner och Schratzenholzer (2000) beskriver länkningen mellan IIASA:s energisystemmodell MESSAGE och den makroekonomiska modellen MACRO. MESSAGE är en dynamisk systemteknisk modell som används för energipolicyanalys. Modellen beskriver elva världsregioner och inkluderar endogen internationell handel med primär energi samt slutliga energibärare såsom metanol och vätgas. Modellens resultat inkluderar ett optimalt energiutbud och nyttjande av infrastruktur, såväl som

resursuttagsprofiler, marginalkostnader och kvantiteter av energi som handlas på den internationella marknaden, investeringar i energisektorn och utsläpp. MACRO är en dynamisk makroekonomisk modell som maximerar den intertemporala nyttan hos en representativ producent/konsument. Modellens resultat inkluderar optimalt sparande, investeringar och konsumtionsbeslut. Totala produktionen i varje region bestäms av en CES produktionsfunktion (Constant Elasticity of Substitution) med insatsfaktorer såsom kapital, arbetskraft och energi, vilka är utbytbara mot varandra (men med ett minskande utbyte med ökande skala). Utöver detta finns icke-prisrelaterade faktorer som kan minska energiefterfrågan, reglerat av s.k. autonomt energieffektivitetsindex (AEEI). Det finns två kategorier energi i modellen: elektricitet och icke-elektricitet.

Algoritmen för länkningen mellan modellerna börjar med att modellen MESSAGE körs. Resultaten från MESSAGE aggregeras sedan till två sektorer: elektricitet och icke-elektricitet. Även ett skuggpris räknas fram för dessa aggregerade sektorer samt en total systemkostnad. MACRO körs sedan med dessa inputs och en aggregerad efterfråga räknas fram. Den iterativa samkörningsprocessen är automatiserad och iterationen stoppas när energiefterfrågan i MACRO-modellen inte avviker från MESSAGE-modellens energiutbud mer än med en viss fraktion. Detta måste gälla vid alla tidpunkter och i de elva världsregioner som modellerna beskriver.

Bauer m.fl. (2007) jämför två olika angreppssätt för modellänkning. Dels testas ett liknande tillvägagångssätt för mjuklänkning som Messner m.fl. (2000) genom att en energisystemmodells resultat i reducerad form integreras i en makromodell. I en iterativ process utbytes pris- och kvantitetsinformation mellan modellerna. De jämför sedan resultaten från de mjuklänkade modellerna med ett tillvägagångssätt där samma ursprungliga modeller hårdlänkas med varandra, d.v.s. integreras i en och samma modell som löses i en komplex icke-linjär optimering. Analyserna visar att de olika länkingsmetodernas resultat skiljer sig åt. Skillnaderna härleds till kapitalmarknaden som behandlas olika i de två ursprungliga modellerna vilket får effekt vid mjuklänkningen där priset på kapital (kalkylräntan) är endogen i makromodellen men exogen i energisystemmodellen. Författarnas slutsats är att hårdlänkningen ger mer konsistenta resultat då mjuklänkningen inte garanterar simultana jämvikter för energi- och kapitalmarknaderna mellan de båda modellerna.

Schäfer och Jacoby (2006) antar ett alternativt sätt att mjuklänka allmänjämviktsmodellen EPPA med en applikation av energisystemmodellen MARKAL som beskriver transportsektorn ("MARKAL model of Transport Technology"). Den transporttekniska MARKAL-modellen modellerar fordonsteknologins dynamik och är en dynamisk linjär optimeringsmodell. Referensenergisystemet, vilket representeras av ett användarteknologiskt nätverk täcker transporter och uppströms energisystem, d.v.s. bränslelager, distribution och transmission och bränsleprocesser. Modellen uppfyller en exogen given efterfrågan med den mix av teknologier som minimerar den diskonterade kumulativa kostnaden över scenariots tidshorisont. EPPA-modellen är en makroekonomisk modell som bygger på GTAP4E. Transportsektorn i EPPA modelleras, liksom de övriga tio sektorerna i ekonomin, med hjälp av en CES-funktion. Även en tredje modellmodul används för att koppla ihop den aggregerade transportsektorn i EPPA-modellen med MARKAL:s tekniska detaljnivå.

Ett första steg i kalibreringen mellan modellerna är att justera diskonteringsräntan så att basårets kostnadsandel i MARKAL återfinns även i EPPA-modellen. Det är främst EPPA-modellen som justeras för att få konsistens med MARKAL-modellen. Detta görs bland annat genom att vissa substitutionselasticiteter i CES-funktionen ökar över tiden som en funktion av resultaten från MARKAL. EPPA-modellens AEEI-parameter förändras även så att resultaten i referensscenariot överensstämmer bättre med MARKAL-resultaten. Efter kalibreringsprocessen är de två modellerna relativt konsistenta med varandra vilket avspeglas i scenarioanalysen.

Johnsen och Unander (1996) jämför och analyserar möjligheterna att länka allmänjämviktmodellen MSG-EE som beskriver den norska ekonomin med en MARKAL-modell beskrivande det norska energisystemet. Studien fokuserar på hushållens energianvändning och hur representationen av denna kan förbättras. Självständiga körningar av de båda modellerna visar att MARKAL ger signifikant lägre energianvändning för hushållen jämfört med MSG-EE. En mjuklänkning mellan modellerna skapas där MARKAL-resultaten för hushållens energianvändning blir styrande i MSG-EE. Hybridmodellens resultat visar att de samhällsekonomiska effekterna på makronivå är små när hänsyn tas till den lägre energianvändningen för hushåll enligt MARKAL. Analysen avslutas med att presentera en strategi för att inkludera all energi som används av ekonomins övriga sektorer genom att iterativt länka modellerna. Denna strategi kan summeras i fyra steg:

- 1) Använd MSG-EE för att räkna fram aktivitetsnivån i varje sektor. Justera efterfrågan på energitjänster i MARKAL utifrån dessa aktivitetsnivåer.
- 2) Använd MARKAL för att minimera kostnaderna för energiutbudet. Modifiera utifrån MARKAL-resultaten MSG-EE produktionsfunktioner (CES energiaggregat och substitution mellan energi och kapital) för att representera bränsleskift och investeringar i ny teknologi.
- 3) Beräkna nya aktivitetsnivåer i MSG-EE med modifieringarna från steg 2.
- 4) Repetera steg 1-3 genom iteration till dess att konvergens nås.

I en annan norsk studie använder **Martinsen (2011)** tre modeller för att studera hur tekniskt lärande på global nivå påverkar samhällsekonomin på nationell nivå. Spridningseffekterna från tekniskt lärande estimeras i den globala modellen Energy Technology Perspective¹¹ och används som input till en MARKAL-modell som beskriver det norska energisystemet. De lägre energisystemkostnader som tekniskt lärande ger implementeras sedan vidare i den nationella allmänjämviktmodellen MSG6 (senare version av MSG-EE). Förändringar i det norska energisystemet förväntas inte ge någon effekt på den globala nivån eftersom Norge antas vara en pristagare på världsmarknaden, därmed sker ingen iteration mellan den globala energisystemmodellen och den nationella MARKAL-modellen. Däremot sker en omfattande iterering (mjuklänkning) mellan de båda nationella modellerna.

Inspirerad av tidigare arbeten av Johansen och Unander (1996) och Schäfer och Jacoby (2006) sker mjuklänkingsprocessen i följande steg: Steg 1 innebär en strävan av samstämmighet mellan alla parametrar i de tre modellerna; Steg 2 innefattar en kalibreringsprocess som övergripande går ut på att MARKAL Norge ska reproducera den elektricitetsproduktionsbana som MSG6 estimerar; Steg 3 innebär simulering och policyanalys.

Kalibreringsprocessen inleds med att välja en gemensam mätpunkt (CMP – Common measuring point) där de båda nationella modellerna ska ge samstämmiga resultat. Elproduktionen bestäms endogent i båda modellerna och väljs därför som CMP. Vidare har de under kalibreringsprocessen valt att ”nollställa” vissa förändringsmöjligheter i de båda modellerna, bl.a. sätts export och import av elektricitet till noll och totala faktorproduktiviteten (TFP) i elsektorn sätts till noll i MSG6. TFP för backstop-teknologin justeras så att marginalkostnaden följer gaspriset. För att uppnå likvärdiga förändringar som i MSG6, blockeras alla nya teknologier i MARKAL som inte finns med nuvarande energisystem. Spridningseffekterna från tekniskt lärande sätts även de till noll. Kalibrering börjar därefter med att MSG6 körs och efterfrågan matas in i MARKAL. Justeringar görs så att elproduktionen är samstämmig mellan de båda modellerna. I det slutliga simuleringssteget tas begränsningarna för nya teknologier bort, export och import införs åter i MARKAL (dock ej i MSG6). Marginalkostnaden för existerande vattenkraft från MARKAL införs som backstop-teknologi i MSG6.

¹¹ Energy Technology Perspective är en modell från International Energy Agency.

Från MARKAL hämtas elproduktionskostnaden för backstopteknologin. Från MSG6 till MARKAL kommer energiefterfrågan. Vid varje iteration jämförs CMP och iterationen fortgår till dess att resultaten mellan CMP i de båda modellerna konvergerar.

Slutsatserna från modellen är att elpriset blir något lägre i hybridmodellen. Med ökande spridningseffekter minskar elpriset men effekterna är relativt små eftersom endast en liten del av den norska elproduktionen produceras med annat än vattenkraft.

Jacobsen (1998) beskriver arbetet med att länka samman Danmarks makromodell, ADAM, med BU-moduler som beskriver energisektorn, hushållens elanvändning och uppvärmning, i utvecklingen av modellen Hybris. Hybris löses genom ett iterativt förfarande mellan ADAM och BU-modulerna. Syftet med projektet var att integrera en BU-simuleringsmodell med en Keynesiansk makroekonometrisk modell och identifiera teoretiska problem samt metodproblem när modellerna integreras. Artikeln går igenom skillnader mellan TD- och BU-modeller samt olika sätt att försöka integrera modelltyperna. Principerna för integrering delas upp i tre kategorier: 1) utgå från TD, 2) utgå från BU 3) mixad integrationsprincip.

TD-principen implicerar att energiefterfrågan bestäms av relativpriser, inkomst eller produktion och en exogen given energieffektivitetsparameter. BU-informationen används endast för att kvantifiera en exogen komponent i den makroekonomiska relationen. Jacobsen poängterar att modellerna kommer att vara konsistenta med varandra så länge som energieffektiviseringen förblir exogen i båda modellerna.

BU-principen som används vid integrering av modellerna betyder att den makroekonomiska specifikationen av energiefterfrågan ersätts med resultat från BU-modellen. Om det går att använda denna princip beror på hur flexibel den makroekonomiska modellen är. Om man ersätter ekvationerna som bestämmer energiefterfrågan i makromodellen kommer det att påverka relationerna för total faktorefterfrågan i produktionssektorerna och i de flesta modeller innebär detta att relationerna för faktorefterfrågan måste revideras eller kalibreras om. Den teoretiska basen i modellen kommer även att försvagas.

Mixade integrationsprincipen är den metod Jacobsen förordar, i vilken den teoretiska basen för makrostrukturen och det ekonomiska beteendet är oförändrade, samt justeringarna i den makroekonomiska strukturen begränsas till ett fåtal relationer med energiinnehåll. Pris- och produktionseffekter på energiefterfrågan kommer fortfarande att finnas kvar men får minskad betydelse. Aggregeringen kommer att skiljas åt även när det gäller beskrivningen av energi. Den kombinerade modellen som baseras på den mixade principen kommer att möjliggöra analys av komplexa policyförslag som t.ex. innehåller både regleringar gällande energiutbudet och energi- och miljöskatter på efterfrågesidan. Den mixade principen innebär även att modelleraren kan koncentrera sig på de viktiga delarna av utbud och efterfrågan på energi utan att behöva ändra i TD-modellens specifikation i de flesta områden. De viktigaste länkarna i Hybris är: 1) el och fjärrvärmepriser, 2) bränsleefterfrågan i energisektorerna, 3) hushållens efterfrågan på el och fjärrvärme 4) efterfrågan på el, fjärrvärme och naturgas i ekonomin, 5) investeringar i elproduktionskapacitet. Slutsatsen är att det går att integrera de olika angreppssätten men att den teoretiska förankringen försvagas något.

Drouet m.fl. (2005) mjuklänkar GEMINI-E3, som är en allmänjämviktsmodell som täcker 21 världsregioner inklusive Schweiz, med en delmängd av den Schweiziska energisystem modellen ETEM-SWI. Studiens fokus är hushållens roll för energianvändning och koldioxidutsläpp. Författarnas syfte är att skapa en dialog mellan dessa komplementära modeller. Bostadssektorn lyfts därför ut ur GEMINI-E3-modellen och görs exogen och definieras av BU-modellen. ETEM-SWI reduceras och representerar endast bostadssektorn där energiefterfrågan, bränslepriser och koldioxidskatt bestäms av GEMINI-E3. I ETEM-SWI separeras hushållens energikonsumtion i

bostäder och icke-bostäder (främst transporter). Hushållens energikonsumtion för bostäder bestäms nu exogent baserad på den bränslemix som fås från ETEM.

Processen att länka de två modellerna kan summeras enligt följande iterationsschema:

1. Kör GEMINI för ett referensscenario för att få startvärden på koldioxidskatt, energipriser, och energiefterfrågan i bostadssektorn.
2. Kör ETEM med startvärden för koldioxidskatt, energipriser och energiefterfrågan i bostäder i GEMINI och få startvärden för slutlig energi efterfrågan, och koldioxidutsläpp i bostadssektorn.
3. Kör GEMINI modellen med indata från ETEM för att skapa nya värden för koldioxidskatt, energipriser och energiefterfrågan i bostadssektorn fram till 2050.
4. Kör ETEM med de nya värdena för koldioxidskatt, energipriser och energiefterfrågan i bostadssektorn.
5. Iterationen fortgår till dess att ett specifikt stoppkriterium uppfylls.

Vid konvergens har modellerna skapat ett system av koldioxidskatter som uppfyller det givna koldioxidmålet där koldioxidutsläpp och bränslemix i bostadssektorn har bestämts genom minimering av de totala diskonterade kostnaderna.

13.2 Hårdlänkning

Hårdlänkning innebär att BU- och TD-relaterade egenskaper i hög grad integreras i en och samma modell som löses i en samtidig optimering (till skillnad från mjuklänkningens iterativa processande av modelloutputs). Detta innebär inte sällan att en förenklad beskrivning av antingen BU- eller TD-aspekterna i den integrerade modellen är nödvändig, vilket står i kontrast till mjuklänkning där också relativt storskaliga modeller i princip kan hållas intakta (t.ex. Bauer m.fl., 2007; Böhringer och Rutherford, 2009).

Manne och Wene (1992) beskriver sammankopplingen av energisystemmodellen MARKAL med den makroekonomiska allmänjämviktsmodellen MACRO vilken beskriver ekonomin genom som en representativ sektor. Länkningen mellan modellerna är en hårdlänkning och effekterna av de båda systemen påverkar varandra: energisystemmodellen MARKAL ger kostnaderna för energiefterfrågan till MAKRO-modellen medan MACRO-modellen ger energiefterfrågan till energisystemmodellen. Exempel på studier där MARKAL-MACRO appliceras är Kypreos (1998) och Chen m.fl. (2007). Också modellen TIMES, som väsentligen kan sägas vara en vidareutveckling av MARKAL, har på liknande sätt integrerats med MACRO-modellen, se **Remme och Blesl (2006)**. Både MARKAL-MACRO och TIMES-MACRO kan sägas vara exempel på en ansats där en något förenklad makroekonomisk modell som inducerar ekonomiska feedback-mekanismer på energisystemet har adderats till en BU-struktur. Till denna kategori kan även ETA-MACRO (**Manne, 1977**) och MERGE (**Manne m.fl., 2006**) läggas.

Ett kontrasterande tillvägagångssätt mot ovan är att utgå från en TD allmän jämviktsmodell och inom denna struktur utveckla en beskrivning av explicita energiteknologier på ett sätt som påminner om BU-angreppssättet. **McFarland m.fl. (2004)** använder allmänjämviktsmodellen MIT EPPA och beskriver hur explicita elproduktionstekniker, utgående från BU "ingenjördata" som "översätts" till TD kompatibel information, kan läggas till i modellen. I studien beskrivs hur nya elproduktionstekniker (naturgaskombi med respektive utan koldioxidavskiljning samt elproduktionstekniker baserad på kolförgasning med koldioxidavskiljning) adderas till de sedan tidigare befintliga elproduktionsteknikerna i modellen (fossil elproduktion, kärnkraft, vattenkraft, vindkraft och biomassabaserad kraftproduktion). Teknikernas respektive BU-

data i form bl.a. kostnader (kapitalkostnader, underhållskostnader, bränslekostnader) och termodynamiska effektivitet räknas om till de produktionsfaktorer som finns representerade i EPPA-modellen, det vill säga kapital, arbete och energi. Därefter utvecklas CES produktionsfunktionernas struktursammansättning och substitutionselasticiteter bestäms. Genom modellkörningarna konkluderas att kolbaserad elproduktion med koldioxidavskiljning penetrerar marknaden vid ett stigande naturgaspris; vilket är en typ av resultat som traditionellt får anses vara av BU-karaktär.

Mathiesen (1985) visar att TD- och BU-perspektiv kan kombineras genom formulering och lösning av problemet som ett s.k. ”mixed complementarity problem” (MCP). **Böhringer (1998)** och **Böhringer och Rutherford (2008, 2009)** utvecklar konceptet och beskriver hur komplementaritetensformatet kan användas för att utveckla en allmänjämviktsmodell till en hybridmodell där energisektorerna beskrivs av bottenom-up aktivitetsanalys och övriga sektors produktion beskrivs av CES-funktioner vilket karakteriserar TD-modeller. En modell av denna karaktär gör att modellen fortfarande är operationell för olika ekonomiska policyscenarier eftersom produktionsfunktionerna fortfarande är kontinuerliga. En fördel jämfört med en allmän jämviktsmodell av standardtyp är möjligheten att införa teknisk utveckling baserat på explicita framtida teknologier istället för att använda ”gissade” exogena effektivitetsparametrar. Böhringer poängterar dock att det kan uppkomma problem eftersom data till de olika modelltyperna härrör från olika källor. Allmänjämviktsmodeller använder oftast statistik från nationalräkenskaper medan BU-modeller använder detaljerade teknologispecifika ingenjördata. Det är centralt att data från de olika källorna i hybridmodellen är konsistenta med varandra.

Liknande metodik används också i flera andra studier. **Frei m.fl. (2003)** utgår från det statistiska konceptet presenterat av Böhringer (1998) och använder komplementaritetensformatet för en dynamisk modellformulering. Den s.k. SCREEN-modellen, vilket i grunden är en allmänjämviktsmodell men där en disaggregerad elsektor inkluderas, utvecklas vidare i studien. SCREEN-modellen används även av **Kumbaroğlu och Madlener (2003)** för analys av olika policyförslag gällande koldioxidreduktion i Schweiz. **Sue Wing (2006; 2008)** använder MCP-formulering och presenterar en hybridmodell som i grunden är en allmänjämviktsmodell som utrustas med en disaggregerad elsektor. Ingenjördata används för att dela upp den elproducerande sektorn i olika teknologier. Genom att använda positiv matematisk programmering kalibreras de nya elproducerande sektorerna så att de tillsammans överensstämmer med data i den ursprungliga databasen för allmänjämviktsmodellen. I artiklarna analyseras bl.a. det s.k. ”flip-flop”-problemet, det vill säga att små förändringar i en tekniks kostnad i modell kan ge upphov till stora förändringar i aktivitetsgrad och marknadsandel (Sue Wing, 2006), samt hur ingenjördata kalibreras till att överensstämma med nationalräkenskapsdata (Sue Wing, 2008).

Knopf m.fl. (2008) argumenterar att en hybridmodell är den enda metod som är tillräckligt utrustad för att möta utmaningarna som behövs för en fullständig utvärdering av klimatpolitiken. Tre viktiga dimensioner av en integrerad utvärderingsmodell tas upp: 1) hög teknisk detaljeringsnivå, 2) fullständig makroekonomisk beskrivning, 3) makroekonomisk realism – vilket beskrivs som samspelet mellan energisystemet och makroekonomin (dessa dimensioner hänvisas i artikeln till Hourcade m.fl., 2006, men det bör påpekas att Hourcade m.fl. talar om *mikro*ekonomisk realism som den tredje dimensionen, och avser med detta hur beteenden avseende teknikbeslut av konsumenter och företag avspeglas i modellen). Knopf m.fl. menar också att modellen måste ha endogen teknisk utveckling för att på ett rimligt sätt beskriva referensscenariot (business-as-usual) och att tidsaspekten för investeringsbesluten är viktig. Knopf m.fl. anser att åtminstone ett av följande alternativ måste integreras i modellen för att modellera teknisk utveckling: 1) ”learning by doing”, 2) ”learning by searching”, 3) ”R&D investments”, 4) ”spillover effects”, eller 5) ”substitutions of production factors”.

För att påvisa hybridmodellens fördelar använder Knopf m.fl. (2008) sig av modellerna REMIND-G (en världsregion) och REMIND-R (nio regioner) som har utvecklats vid Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK). De har i dessa modeller inkluderat en energisystemmodell i en intertemporal makroekonomisk allmän jämviktmodell. Modellerna modellerar endogen teknisk utveckling genom "learning by doing" som drivs av installerad kapacitet i energisystemet. De anser att de uppfyller de tre kriterier som skall karakterisera en bra integrerad utvärderingsmodell; det vill säga: 1) hög teknisk detaljeringsnivå – modellen inkluderar en energisystemmodell med endogen teknisk utveckling, 2) makroekonomisk beskrivning – de inkluderar en dynamisk makroekonomisk modell, och slutligen, 3) genom hårdlänken sker interaktion mellan energisystemet och ekonomin.

14 Bilaga B EMEC

Tabell B1 Produktions branscher i EMEC

Production sector in EMEC	SNI 2002	Sector label in the Swedish National Accounts
1. Agriculture	01	Agriculture and hunting
2. Fishery	05	Fishing
3. Forestry	02	Forestry and logging
4. Mining	10-14	Metal ore mining Other mining and quarrying
5. Other industries	15-20	Manufacture of food, beverage and tobacco Textile industries Manufacture of wood and wood products
6. Mineral products	26	Manufacture of non-metallic mineral products
7. Pulp and paper mills	21-22	Manufacture of pulp, paper and paper products Printing and publishing
8. Drug industries	244	Manufacture of pharmaceuticals products Manufacture of soap and detergents
9. Other chemical industries	24 exkl. 24.4, 25	Manufacture of chemicals and chemical products Manufacture of rubber and plastic products
10. Iron & steel industries	271-3	Iron steel basic industries
11. Non-iron metal industries	274-5	Non-ferrous metal basic industries
12. Engineering	28-36	Manufacture of metal products Manufacture of mechanical machinery Manufacture of electrical machinery and computers Manufacture of communication equipment Manufacture of measuring equipment, etc. Manufacture of transport equipment Other manufacturing industries
13. Petroleum refineries	23	Petroleum refining
14. Electricity supply	401	Electricity
15. Hot water supply	403	Steam and hot water supply
16. Gas distribution	402	Gas manufacture and distribution
17. Water and sewage	41, 90001	Water supply and sewage disposal
18. Construction	45	Construction
19. Rail road transports	601	Railway road transports
20 Road goods transports	602 exkl 6024	Road goods transports
21. Road passenger	6024	Road passenger transports
22. Sea transports	61	Water transports
23. Air transports	62	Air transports
24. Other transports	63-64	Other transport activities , Communication
25. Services	50-55,(65-67), 71-74,80-85,	Wholesale and retail trade Financial institutions Insurance Business services Other private services
26. Real estate	70	Letting of dwellings and other real estate

Tabell B2 Definition av varor i EMEC

Commodity in EMEC	CPA code*	Commodity label in the Swedish National
1. Agricultural products	01	Products of agriculture and hunting
2. Fish	05	Fish and fishing products
3. Timber	02	Products of forestry and logging
4. Bio fuels	02 pt	Wastes from logging
5. Metal ores	13	Metal ores
	14	Other mining and quarrying products
6. Coal	10	Coal
7. Products n.e.c.	15,16	Food products, beverages and tobacco products
	17-19	Textiles and textile products
	20	Wood and wood products
8. Mineral products	26	Non-metallic mineral products
9. Pulp and paper	21	Pulp,paper and paper products
	22	Printed matter
10. Pharmacy products	244	Pharmaceuticals and medical chemicals
	245	Soap,detergents and cosmetics
11 Other chemical products	24 excl	Chemicals and chemical products
	25	Rubber and plastic products
12. Iron and steel	271-273	Basic iron and steel , tubes and wires
13. Other metals	274,275	Basic non-ferrous metals
14. Engineering products	28	Metal products
	29	Mechanical machines
	30,31	Electric machines and computers
	32	Communication equipment
	33	Measuring equipment
	34,35	Transport equipment
	36,37	Other manufactured products
15. Fuels	23200 pt	Heating oils
16. Motor fuels	23200 pt	Motor gasoline,diesel and jet fuels
17. Other petroleum	23200 pt	Other refined petroleum products
18. Crude petroleum	11	Crude petroleum
19. Electricity	401	Electricity
20. Steam and hot water	403	Steam and hot water
21. Gas	402	Manufactured and distributed gas
22. Fresh water	41	Collected, purified and distributed water
23. Buildings	45	Construction works
24. Rail transports	601	Rail transports
25. Passenger transports	6021 pt,6023	Passenger transports by bus
	6022	Passenger transports by taxi
26. Large truck transports	6024 pt	Goods transports by trucks > 32 tons
27. Medium truck transports	6024 pt	Goods transports by trucks 3.5 - 32 tons
28. Small truck transports	6024 pt	Goods transports by trucks < 3.5 tons
29. Sea transports	61	Sea transports
30. Air transports	620	Air transports
31. Other transports	63	Other transport products
	64	Communication products
32. Services	50-52	Wholesale and retail trade products
	55	Restaurant and hotel services
	65	Financial services
	66	Insurance services
	71-74	Business services
	75,80-85,90-	Other private services
33. Dwellings	70	Real estate services

* EU Classification of products by Activity (CPA).

Tabell B3 Definition av varor för privat konsumtion i EMEC

Commodity in EMEC	COICOP code*	Consumption label in the Swedish National Accounts
1. Foods and beverages	1,2	Food, beverages and tobacco
2. Clothing and footwear	3	Clothing and footwear
3. Furniture etc	51	Furniture, carpets and repairs
	52	Household textiles and other furnishings
4. Household goods	531,532	Major household appliances
	54,55	Glassware, tableware and household utensils
	533	Household services
5. Gross rents	41,42	Gross rents and water charges
6. Recreation	9424	Photographic equipment
	9421-3,9425-7	Entertainment and photo services
	941,943	Gambling, lotteries etc.
	951-3	Books, newspapers and magazines
	914,931,932,9341	Other recreational goods and services
7. Private transport	71,9211-3	Personal transport equipment
	721,7222	Repair charges, parts and accessories
	7241	Compulsory tests of cars
8. Road work trips	7321 pt, 735-6 pt	Bus and local traffic, Cabs, Removal
9. Road short leisure trips	7321 pt, 735-6 pt	Bus and local traffic, Cabs, Removal
10. Road long leisure trips	7321 pt, 735-6 pt	Bus and local traffic, Cabs, Removal
11. Rail work trips	7310 pt	Railway transports
12. Rail short leisure trips	7310 pt	Railway transports
13. Rail long leisure trips	7310 pt	Railway transports
14. Sea short leisure trips	734 pt	Sea transports
15. Sea long leisure trips	734 pt	Sea transports
16. Air long leisure trips	733 pt	Air transports
	960	Services of travel agencies and air charter
17. Services	432	Household services excl domestic services
	562	Domestic services
	723,7241,7243-5	Other expenditures on cars
	81	Communication
	911	Radio and television
	915,923	Repairs to recreational goods etc
	935	Veterinary services
	11,121	Services of barber and beauty shops etc
	125,126	Financial services
	941,124,101	Services n.e.c.
	15	Purchases abroad and foreign purchases
	62,63	Medical care and health expenses
18. Goods n.e.c.	912-3,921-2	Other recreational goods
	61,9342,1232	Goods for personal care
	431,561,551,933	Goods n.e.c.
	1212-3,954,12311	Goods n.e.c
19. Electricity	451	Electricity
20. Gas	452	Gas
21. Fuels	453	Heating oils
	454 pt	Other fuels
22. Gasoline work trips	7221 pt	Gasoline
23. Gasoline short leisure trips	7221 pt	Gasoline
24. Gasoline long leisure trips	7221 pt	Gasoline
25. Bio fuels	454 pt	Other fuels
26. Purchased heat	455	Purchased heat

* COICOP (Classification of Individual Consumption by Purpose), is an international classification of private consumption according to A System of National Accounts (SNA), United Nations, 1993

Tabell B4 Hushållsgrupper i EMEC

Household group	Household income	Region
Low income group in big city areas	0 - 240 000	H-region 1, 8, and 9: Stockholm, Gothenburg and Malmö
High income group in big city areas	240 000 - ∞	H-region 1, 8, and 9: Stockholm, Gothenburg and Malmö
Low income group in population centres	0-240 000	H-region 3: Municipalities with more than 90 000 inhabitants within a 30 km radius from the municipal centre and H-region 4: Municipalities with more than 27 000 and less than 90 000 inhabitants within a 30 km radius from the municipal centre and more than 300 000 inhabitants within a 100 km radius from the same point.
High income group in population centres	240 000 - ∞	H-region 3: Municipalities with more than 90 000 inhabitants within a 30 km radius from the municipal centre and H-region 4: Municipalities with more than 27 000 and less than 90 000 inhabitants within a 30 km radius from the municipal centre and more than 300 000 inhabitants within a 100 km radius from the same point.
Low income group in sparsely populated areas	0-240 000	H-region 5: Municipalities with more than 27 000 and less than 90 000 inhabitants within a 30 km radius from the municipal centre and less than 300 000 inhabitants within a 100 km radius from the same point and H-region 6: Municipalities with less than 27 000 inhabitants within a 30 km radius from the municipal centre
High income group in sparsely populated areas	240 000 - ∞	H-region 5: Municipalities with more than 27 000 and less than 90 000 inhabitants within a 30 km radius from the municipal centre and less than 300 000 inhabitants within a 100 km radius from the same point and H-region 6: Municipalities with less than 27 000 inhabitants within a 30 km radius from the municipal centre

Tabell B5 Definition av energibärare i EMEC

Energy carrier - EMEC	Label in the Swedish Environmental Accounts
Fuel oils	Domestic heating oil (EO1)
	Heavy fuel oils (EO2-5)
Gases	LPG
	Gas works gas
	Natural gas
	Coke oven gas
	Blast furnace gas
Motor fuels	LD-gas
	Motor gasoline
	Aviation gasoline
	Diesel oil
	Jet gasoline
	Jet kerosene
Coal	Coal
	Coke
Bio fuels	Wood-fuels
Other fuels	Peat
	Wastes
	Other

15 Bilaga C TIMES

Tabell C1 Industrisektorer i TIMES-Sweden

Industrisektorn		
Aluminium Demand	IAL	Mton
Copper Demand	ICU	Mton
Iron and Steel Demand	IIS	Mton
Other Non Ferrous Metals Demand	INF	PJ
Ammonia Demand	IAM	Mton
Chlorine Demand	ICL	Mton
Other Chemicals Demand	ICH	PJ
Cement Demand	ICM	Mton
Lime Demand	ILM	Mton
Glass Flat Demand	IGF	Mton
Glass Hollow Demand	IGH	Mton
High Quality Paper Demand	IPH	Mton
Low Quality Paper Demand	IPL	Mton
Other Non Metallic Minerals Demand	INM	PJ
Other Industries	IOI	PJ
Non Energy Consumption - Chemicals	NEC	PJ
Non Energy Consumption - Others	NEO	PJ

Tabell C2 Kontor och offentliga byggnader i TIMES-Sweden

Kontor och offentliga byggnader		
Com.Space Cooling.Large.Existing	CCLE	PJ
Com.Space Heating.Large.Existing	CHLE	PJ
Com.Water Heat.Large.Existing	CWLE	PJ
Com.Space Cooling.Small.Existing	CCSE	PJ
Com.Space Heating.Small.Existing	CHSE	PJ
Com.Water Heat.Small.Existing	CWSE	PJ
Com.Cooking.Existing	CCOK	PJ
Com.Lighting.Existing	CLIG	PJ
Com.Public Lighting.Existing	CPLI	PJ
Com.Refrigeration.Existing	CREF	PJ
Com.Other Electric.Existing	COEL	PJ
Com.Other Energy.Existing	COEN	PJ
Com.Other Sector	ONE	PJ

*För alla segment med "Existing" finns där även ett segment som kallas "New".

Tabell C3 Bostadssektorn i TIMES-Sweden

Bostadssektorn		
Rsd.Space Cooling – Flerfamiljshus.Existing	RCME	PJ
Rsd.Space Heating – Flerfamiljshus.Existing	RHME	PJ
Rsd.Water Heat – Flerfamiljshus.Existing	RWME	PJ
Rsd.Space Cooling – Enfamiljhus.Rural.Existing	RCRE	PJ
Rsd.Space Heating – Enfamiljhus.Rural.Existing	RHRE	PJ
Rsd.Water Heat – Enfamiljhus.Rural.Existing	RWRE	PJ
Rsd.Space Cooling – Enfamiljhus.Urban.Existing	RCUE	PJ
Rsd.Space Heating – Enfamiljhus.Urban.Existing	RHUE	PJ
Rsd.Water Heat – Enfamiljhus.Urban.Existing	RWUE	PJ
Rsd.Cloth Drying.Existing	RCDR	PJ
Rsd.Cloth Washing.Existing	RCWA	PJ
Rsd.Cooking.Existing	RCOK	PJ
Rsd.Dish Washing.Existing	RDWA	PJ
Rsd.Lighting.Existing	RLIG	PJ
Rsd.Refrigeration.Existing	RREF	PJ
Rsd.Other Electric.Existing	ROEL	PJ
Rsd.Other Energy.Existing	ROEN	PJ

*För alla segment med "Existing" finns där även ett segment som kallas "New".

Tabell C4 Transport sektorn i TIMES-Sweden

Transportsektorn		
Aviation International	TAI	PJ
Aviation Generic	TAV	PJ
Navigation.Generic	TNA	PJ
Navigation.Generic.Bunker	TNB	PJ
Rail.Freight	TTF	Million Tkm
Road.Freight	TFR	Million Tkm
Rail.Passengers.Heavy	TTP	Million Pkm
Rail.Passengers.Light	TTL	Million Pkm
Road.Bus.Intercity	TBI	Million Pkm
Road.Bus.Urban	TBU	Million Pkm
Road.Car.Long Distance	TCL	Million Pkm
Road.Car.Short Distance	TCS	Million Pkm
Road.Motorcycle	TMO	Million Pkm

Tabell C5 Övriga sektorer i TIMES-Sweden

Jord-, fiske och skogsbruk		
Jord-, fiske och skogsbruk	AGR	PJ

Tabell C6 Exempel på energibärare i TIMES-Sweden.

Energibärare	Namn
Hard Coal	COAHAR
Biogas	BIOGAS
Biofuels	BIOLIQ
Municipal Waste	BIOMUN
Industrial Waste-Sludge	BIOSLU
Wood Products	BIOWOO
Brown Coal	COABRO
Coke	COACOK
Lignite/Peat	COALIG
Electricity from large power plants (before grid)	ELCHIG
Electricity High Voltage	ELCHIGG
Electricity Medium Voltage	ELCMED
Electricity Low Voltage	ELCLOW
Blast-Furnace Gas	GASBFG
Coke-Oven Gas	GASCOG
Gasworks Gas	GASGWG
Natural Gas	GASNAT
District heating	HETLOW
Crude Oil	OILCRD
Diesel	OILDST
Feedstocks	OILFDS
Motor Spirit	OILGSL
Residual Fuel Oil	OILHFO
Kerosenes - Jet Fuels	OILKER
Liquified Petroleum Gas	OILLPG
Naphtha	OILNAP
Non Energy	OILNEU
Other Petroleum Products	OILOTH
Refinery Gas	OILRFG
Geothermal	RENGEO
Hydro	RENHYD
Solar	RENSOL
Wind	RENWIN