

BIOMASSA, SYSTEMMODELLER OCH MÅLKONFLIKTER

RAPPORT 2017:407



Biomassa, systemmodeller och målkonflikter

**ANNA KROOK RIEKKOLA
ELISABETH WETTERLUND
ERIK SANDBERG**

ISBN 978-91-7673-407-0 | © ENERGIFORSK juni 2017

Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30 | E-post: kontakt@energiforsk.se | www.energiforsk.se

Förord

Hur mycket biomassa som bör användas i fjärrvärmesystemet, i skogsbiomassasystemet eller i biodrivmedelsystemet har studerats i detta projekt. Två olika modeller, med olika perspektiv, har jämförts och belyser hur biomassa kan användas och konkurrerar om slutanvändningen.

Syftet med projektet har varit att jämföra olika användningsområden av biomassa och att studera hur användningen i olika sektorer påverkar exempelvis elproduktion i ett fjärrvärmesystem jämfört med att framställa biodrivmedel.

Projektet har genomförts av Anna Krook Riekkola, Elisabeth Wetterlund och Erik Sandberg på avdelningen för energivetenskap, Luleå tekniska universitet. Till projektet har funnits en referensgrupp bestående av, Erik Dotzauer AB Fortum Värme samägt med Stockholm stad; Anna Mansikkasalo, Konjunkturinstitutet; Julia Hansson, IVL Svenska Miljöinstitutet; Klaus Hammes, Energimyndigheten; Jonas Vestun (Jämtkraft). Erik Thornstrom Energiföretagen Sverige. I slutet fanns även Karin Nikavar, Vattenfall med.

Projektet ingår i forskningsprogrammet Fjärrsyn som finansieras av fjärrvärmeföretagen genom Energiföretagen Sverige och Energimyndigheten. Forskningen inom Fjärrsyn ska stärka fjärrvärme och fjärrkyla, uppmuntra konkurrenskraftig och affärs- och teknikutveckling och skapa resurseffektiva lösningar för framtidens hållbara energisystem till nytta för energibranschen, kunderna, miljön och samhället i stort.

Leif Bodinson

Ordförande i Energiföretagen Sveriges omvärldsråd

Sammanfattning

I denna studie analyseras tillgängligheten av och konkurrensen om biobränsle med ett fjärrvärmeperspektiv. Syftet är att bidra till en breddad systemförståelse av interaktionen mellan fjärrvärmesystemet, skogsbiomassasystemet och biodrivmedelssystemet. Utgångspunkten har varit två energisystemmodeller som på olika sätt fångar konkurrensen om svensk biomassa. Fokus har varit på att (1) identifiera eventuella målkonflikter mellan ökad elproduktion från fjärrvärme, ökad andel biodrivmedel och minskade koldioxidutsläpp, och (2) identifiera hur modellerna kan kommunicera och vidareutvecklas i syfte att förbättra representationen av biomassa i den nationella energisystemanalysen.

TIMES-Sweden beaktar hela Sveriges energisystem och fångar konkurrensen om biomassa mellan sektorer. Modellen används för att analysera hur energisystemet förändras under olika mål, skatter och regleringar på energi- och miljöområdet. Den geografiskt explicita modellen **BeWhere Sweden** har istället fokus på en delmängd av energisystemet, och används för att analysera användning av och konkurrens om biomassa och för att identifiera hur framtida biobaserade värdekedjor kan implementeras samt vilken roll existerande energiinfrastruktur kan spela. I denna studie har modellerna utvecklats både för att var för sig bättre kunna fånga konkurrensen om biomassa i analysen och för att underlätta framtida kommunikation mellan modellerna. Exempel på det senare är en gemensam sektors- och varuuppdelning, och harmoniserade antaganden för tekniker (främst för biodrivmedelsproduktion) och resurser (biomassa).

Utifrån olika scenarier har eventuella målkonflikter mellan framförallt ökad elproduktion från fjärrvärme och ökad andel inhemskt producerade biodrivmedel analyserats genom parallella modellkörningar. Resultaten visar på att biomassan spelar en viktig roll för att nå ambitiösa klimatmål, men att det inte är entydigt hur den används "bäst". Om allt mer bränslen från skogen ska användas till drivmedel så verkar det vid första anblicken vara negativt för fjärrvärmebranschen, men det behöver inte bli så. Dels använder fjärrvärmebranschen rester från skogen som få andra vill använda, dels kan det biodrivmedelsproduktion ge upphov till överskottsvärme som kan användas till fjärrvärme. Höga andelar fjärrvärmeintegrerad biodrivmedelsproduktion riskerar dock leda till minskad användning av biobränsle till elproduktion i kraftvärmeverk, vilket visar på en målkonflikt mellan produktion av biobaserad el och av biodrivmedel. Däremot visar resultaten att vid rimliga nivåer för produktion av avancerade biodrivmedel (under ca 10-15 TWh per år) ger nya drivmedelsanläggningar generellt inte upphov till konkurrens med biokraftvärme om det tillgängliga värmeunderlaget i fjärrvärmenäten, eftersom skogsindustriintegrerad drivmedelsproduktion är mer systemkostnadseffektivt. Detta i sin tur får inverkan på industrins möjligheter till biobaserad elproduktion, eftersom biodrivmedelsproduktion minskar möjligheterna för industriellt mottryck. Sammantaget visar resultaten också att fjärrvärme är en viktig del i att nå riktigt låga koldioxidnivåer, oavsett om den producerade fjärrvärmen kommer från biokraftvärme eller från överskottsvärme från biodrivmedelsproduktion.

Summary

The availability and competition for woody biomass has been analysed with a district heating perspective with an aim to contribute to a broader system understanding of the interaction between the district heating system, the forest biomass system and the biofuel system. The starting point has been two energy system models that in different ways capture the competition for biomass in Sweden. The focus has been on (1) identifying possible conflicting targets between increased electricity generation from district heating, increased biofuel production and reduced carbon dioxide emissions, and (2) identifying how the models can communicate and be further developed in order to improve the representation of biomass in the national energy system analysis.

TIMES-Sweden takes into account the entire Swedish energy system and captures competition for biomass between sectors. The model is used to analyse how the energy system may develop under different energy and climate policy schemes and targets. The geographically explicit model **BeWhere Sweden** focuses on a subset of the energy system. It is used to analyse use of and competition for biomass resources, and to identify how future biobased value chains can be implemented as well as the potential role of existing energy infrastructure. In this study, the two models have been further developed to better capture biomass competition and to facilitate future communication between the models. Examples of the latter are a common sector and product division, and harmonised technology assumptions (primarily for biofuels production) and biomass resources.

Based on different scenarios, potential conflicts between increased electricity production in district heating systems and increased production of biofuels have been analysed by parallel model runs. The results show that biomass plays an important role in achieving ambitious climate targets, but it is not clear how it is used 'best'. If more biomass from the forest is to be used for biofuels, it can appear to be negative for the district heating sector, which is not necessarily the case. The district heating sector can use low grade biomass residues that are difficult to utilise in other applications, and excess heat from biofuel production can be fed into the district heating grids. However, high shares of district heating integrated biofuel production risk reducing the electricity production in biomass fired CHP plants, which indicates a target conflict between production of bio-based electricity and biofuels. On the other hand, the results show that at realistic levels for production of advanced biofuels (up to about 10-15 TWh per year), new biofuel plants in general do not induce competition with bio-CHP for the available heat load in district heating networks, as forest industry integrated biofuel production is more cost effective from a systems perspective. This in turn has an impact on the forest industry's potential for bio-based electricity production, as biofuel production reduces the potential for industrial back-pressure production. Finally, the results also show that district heating is an important part in achieving close to zero net carbon emissions in Sweden year 2045, regardless of whether the district heating derives from biomass-CHP or from surplus heat from biofuels production.

Innehåll

1	Inledning	8
1.1	Syfte och mål	9
1.2	Genomförande och rapportdisposition	9
2	Energisystemmodeller	10
2.1	Allmänt om energisystemmodeller	10
2.2	TIMES-Sweden	12
2.3	BeWhere Sweden	14
2.4	Modelljämförelse	16
2.5	Modellänkning	19
	2.5.1 Från TIMES-Sweden till BeWhere Sweden	20
	2.5.2 Från BeWhere Sweden till TIMES-Sweden	20
3	Betraktade system i denna studie	22
3.1	Fjärrvärme	22
	3.1.1 Uppvärmning av bostäder och lokaler	22
	3.1.2 Fjärrvärmesystem	22
3.2	Biomassa	24
	3.2.1 Scenarier för biomassatillgångar	25
	3.2.2 Import och export av biomassa	27
	3.2.3 Skogsindustrins utveckling	28
3.3	Biodrivmedel	28
	3.3.1 Inkluderade teknikkoncept för avancerade biodrivmedel	29
	3.3.2 Integrationsmöjligheter	31
	3.3.3 Data för biodrivmedelskoncepten	32
3.4	Transportsektorn	33
	3.4.1 Transportbehov	34
	3.4.2 Teknikutveckling av fordonsparken	34
3.5	Policy	34
	3.5.1 Svenska styrmedel	34
	3.5.2 Klimatpolitik	35
4	Modellutveckling	37
4.1	Modellutveckling TIMES-Sweden	37
	4.1.1 Uppvärmning av bostäder och lokaler	37
	4.1.2 Biomassa	39
	4.1.3 Biodrivmedelsproduktion	41
	4.1.4 Industri – Papper och massaindustrin	42
	4.1.5 Industri – Sågverk	43
	4.1.6 Uppdaterad modellstruktur – sammanfattning	43
4.2	Modellutveckling BeWhere Sweden	46
	4.2.1 Fjärrvärme	46

4.2.2	Tillgångar på och användning av biomassa	47
4.2.3	Biodrivmedelsproduktion	49
4.2.4	Transport och distribution	50
5	Modellkörningar och analys	52
5.1	Modellkörningar och analys med TIMES-Sweden	52
5.1.1	En explorativ scenarioanalys av effekten av att ha fjärrvärme som en del av det svenska energisystemet	52
5.1.2	Konsekvensanalys av olika byggkrav på nya respektive existerande bostäder	54
5.1.3	Modellering av långsiktiga klimatmål för Sverige	55
5.2	Modellkörningar och analys med BeWhere Sweden	56
5.2.1	Beskrivning av modellkörningar	57
5.2.2	Resultat: Nya produktionsanläggningar för biodrivmedel	58
5.2.3	Resultat: Biobaserad elproduktion	61
5.2.4	Resultat: Biomassaanvändning	63
6	Sammanvävda slutsatser	66
6.1	Målkonfliktsanalys	66
6.2	Reflektioner ur ett modelleringsperspektiv	68
7	Sammanfattande slutsatser för fjärrvärmerna	69
8	Referenslista	70

1 Inledning

Med samtidiga mål för expansion av förnybar elproduktion i fjärrvärmenäten, konvertering från fossila bränslen inom industrin, samt ökning av förnybar energi i transportsektorn, kan potentiella målkonflikter uppstå. I synnerhet kan tillgängligheten och konkurrensen avseende olika former av biobränslen tänkas komma att få kraftig inverkan på fjärrvärmesektorns utveckling. Det övergripande syftet med denna studie är att analysera tillgängligheten av och konkurrensen om biobränsle, med ett fjärrvärmeperspektiv i fokus.

Fjärrvärmerna är starkt integrerad med andra sektorer i energisystemet, speciellt gäller detta avfall, el och olika industrisektorer. För att förstå effekterna av framtida omvärldsförändringar och styrmedel behövs energisystemmodeller som kan beskriva dessa interaktioner på ett bra sätt. Samtidigt behövs modeller som kan fånga de regionala skillnader som finns i Sverige gällande fjärrvärmenät, biomassatillgångar och möjligheter för produktion av avancerade biodrivmedel. Idag finns ingen enskild energisystemmodell som kan hantera båda dessa utmaningar. I denna studie används därför två olika energisystemmodeller – TIMES-Sweden och BeWhere Sweden – för att förbättra förståelsen av hur framtida marknadsutvecklingar och policy kan påverka fjärrvärmerna i Sverige, med fokus på skogsbiomassa.

TIMES-Sweden är en energisystemmodell som beaktar hela Sveriges energisystem, och som identifierar hur begränsade resurser (såsom biomassa) allokeras till minsta kostnad för det totala systemet. Modellen används för att analysera hur energisystemet förändras under olika mål, skatter och regleringar på energi- och miljöområdet. Tidigare policyscenariostudier med TIMES-Sweden visar att allokeringen av biomassa i det svenska energisystemet varierar betydande beroende på hur koldioxidmålen definieras (Krook Riekkola, Ahlgren and Söderholm, 2011), samt beroende på val av styrmedel (Krook Riekkola and Söderholm, 2013). I studierna identifierades att inkludering av biobränslekombinat för samtidig produktion av biodrivmedel, el och fjärrvärme, samt av en mer detaljerad representation av biomassa och en koppling till en separat, GIS-baserad modell, skulle kunna ge en mer komplett analys och en bättre representation av aspekter relaterade till biomassans lokala karaktär.

BeWhere Sweden¹ är en geografiskt explicit energisystemmodell som innefattar en delmängd av det svenska energisystemet, med fokus på biomassa (främst från skogen) samt produktion av skogsbaserade biodrivmedel i Sverige. Modellen används för att analysera användning av och konkurrens om biomassa och för att identifiera *hur* framtida biobaserade värdekedjor kan implementeras kostnads-effektivt ur ett systemperspektiv, och vilken roll existerande energiinfrastruktur kan spela. Tidigare studier med modellen har bekräftat att det kan finnas betydande geografiska och sitespecifika skillnader som påverkar systemets totala

¹ I denna rapport används av enkelhetsskäl ofta endast beteckningen "BeWhere", även när det är den specifika modellen BeWhere Sweden som avses. Mer information om familjen BeWhere-modeller finns i avsnitt 2.3

kostnad för att uppnå ambitiösa mål för biodrivmedelsproduktion från skogsbiomassa i Sverige, vilket motiverar användningen av en geografiskt explicit modell (Wetterlund, Pettersson, Lundmark, *et al.*, 2013; Pettersson *et al.*, 2015).

1.1 SYFTE OCH MÅL

Studiens övergripande avsikt är att analysera *tillgängligheten av* och *konkurrensen om* biobränsle utifrån ett fjärrvärmeperspektiv, genom att tillämpa av de två olika energisystemmodellerna TIMES-Sweden och BeWhere Sweden. Mer specifikt, studien har följande två målsättningar:

1. Utifrån olika scenarioanalyser identifiera eventuella målkonflikter mellan ökad elproduktion från fjärrvärme, ökad andel biodrivmedel och minskade koldioxidutsläpp, och att
2. förbättra representationen av biomassa i den nationella energisystemanalysen i syfte att bättre fånga lokala och regionala aspekter av skogsbaserat biobränsle, både med avseende på dess ursprung och på dess varierande användningsområde.

För att uppfylla dessa målsättningar har respektive modell genomgått en uppdatering vad gäller datastruktur för att underlätta implementeringen av identifierade förbättringsåtgärder.

Vi har jobbat utifrån ambitionen att studien ska bidra till en breddad systemförståelse av interaktionen mellan fjärrvärmesystemet, skogsbiomassasystemet och biodrivmedelssystemet.

1.2 GENOMFÖRANDE OCH RAPPORTDISPOSITION

Studiens genomförande kan delas in i fyra huvudsakliga steg:

Modell- och systemidentifiering (kapitel 2-3): Systematisk jämförelse av modellerna med identifiering av respektive modells styrkor och svagheter, överlapp respektive glapp mellan modellerna, vilken typ av information som respektive modell kan nyttja från den andra modellen, samt identifiering av nödvändig modellutveckling. Dessutom har identifiering och beskrivning av det gemensamma systemet samt av grundläggande systemkomponenter som täcks av båda modellerna genomförts.

Modellutveckling (kapitel 4): Parallell modellutveckling av TIMES-Sweden respektive BeWhere Sweden utifrån behov identifierade i steg 1.

Modellkörningar (kapitel 5): Parallella modellkörningar med de båda energisystemmodellerna, med fokus på målkonfliktanalys mellan ökad elproduktion från fjärrvärme, ökad andel biodrivmedel och minskade koldioxidutsläpp².

Gemensam syntes och slutsatser (kapitel 6-7): En gemensam syntes, analys och slutsatser från de parallella modellkörningarna.

² Delvis iterativ process med steg 2, då preliminära modellresultat lett till identifiering av vidare modellutvecklingsbehov. Delvis har detta genomförts inom ramen för föreliggande projekt, medan huvuddelen av fortsatt modellutveckling genomförs i andra pågående projekt.

2 Energisystemmodeller

I detta kapitel introduceras de två energisystemmodeller som används för att analysera eventuella målkonflikter mellan ökad elproduktion från fjärrvärme, ökad andel biodrivmedel och minskade koldioxidutsläpp.

Kapitlet inleds med en kort introduktion om vad energisystemmodeller är och hur de används. Därefter beskrivs respektive modell, TIMES-Sweden och BeWhere Sweden, följt av en modelljämförelse. Kapitlet avslutas med en analys om hur modellerna skulle kunna kommuniceras med varandra. Detta för att förbättra representationen av biomassa i den nationella energisystemanalysen i syfte att bättre fånga både lokala och regionala aspekter av skogsbaserat biobränsle med avseende på dess ursprung och på dess varierande användningsområde.

2.1 ALLMÄNT OM ENERGISYSTEMMODELLER

Energisystemmodeller kan bidra att utforska möjliga scenarier, identifiera "kostnadseffektiva" vägar för att t.ex. nå ett önskvärt klimatmål, och identifiera hur begränsade resurser (såsom biomassa) kan användas resurseffektivt.

En modell är en förenkling av verkligheten där huvudkomponenterna och parametrarna för problemet är representerade (Churchman, 1968). Amerighi et al. (2010) definierar en modell som en "kvantitativ matematiskt baserad metodik" vilket de skiljer från metod, som de istället definierar som en sekvens – av det vetenskapliga samfundet vedertagna – av fastställda och systematiska steg för att undersöka ett specifikt ämne. Modeller kan vara optimerande eller simulerande. Båda modellerna presenterade i detta projekt är optimerande modeller.

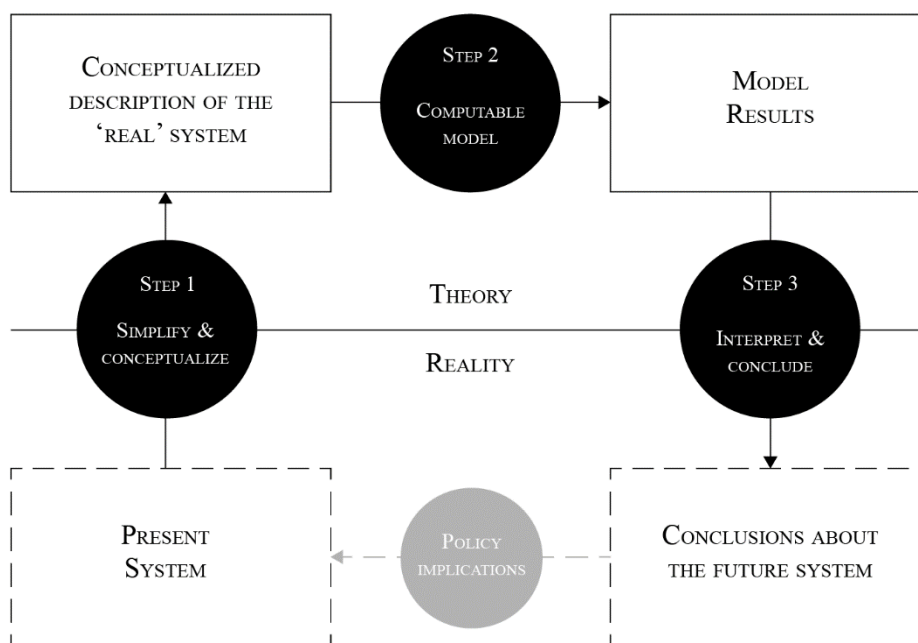
De första optimerande energisystemmodellerna användes som rena planeringsmodeller i syfte att identifiera hur den växande efterfrågan på el kunde mötas på lokal nivå. Modellerna användes vanligen som beslutsverktyg för att identifiera långsiktigt optimala investeringsstrategier för kraftproduktionsanläggningar (Samouilidis, 1980). I Sverige utvecklades under 80- och 90-talet lokala MARKAL-modeller³ för att stödja kommuners energiplanering, vilket både omfattade kraft- och värmeproduktion, (se t.ex. Wene & Rydén 1989; Rydén et al. 1993). Därefter skapades nationella MARKAL-modeller, men fortfarande med fokus på den stationära energisektorn (el och fjärrvärme). I och med att TIMES-modellplattformen skapades (baserat på MARKAL och EFOM), så blev modellverktyget mer flexibelt och en större variation av modeller utvecklades, med variation exempelvis vad gäller vilka sektorer som omfattas, vilka flöden som studeras, etc.

Energimodellers styrka ligger ofta i att fånga strukturomvandlingen i ett system, dvs. att identifiera långsiktigt hållbara investeringsalternativ. Detta påverkas av de (på engelska) 4 E:na – energi, teknik (engineering), ekonomi samt miljö (environment) (Tosato, 2009). Det finns även andra aspekter som påverkar utvecklingen av energisystemet, exempelvis det sociala systemet och individernas

³ MARKAL är föregångaren till TIMES modellplattformen. TIMES beskrivs närmare under kapitel 2.2.

beteende. Preferenser, interaktion och människors beteende är svåra att generalisera och representera i modeller, speciellt i stora aggregerade modeller. Detta innebär dock inte att de kan ignoreras, men kan behöva bedömas utanför modellen.

Att använda optimerande energisystemmodeller är ofta en hel process som är gemensam för systemanalys inom många områden (och framförallt inom modeller baserade på operationsanalys). En vanlig tankeprocess presenteras i Figur 1. Den presenterade processen baseras på litteraturen om operativanalys, systemanalys (Churchman, 1968) och modellering av energisystem (Tosato, 2009). I det första steget förenklas det betraktade systemet till en hanterbar konceptuell modell. Hur det betraktade systemet ska representeras i modellen blir en avvägning mellan vad som är önskvärt (ur ett systemperspektiv) och vad som är tillgängligt (ur dataperspektiv). Det andra steget är den matematiska modellen, där algoritmerna löser målfunktionen. Det tredje steget, där modellresultaten tolkas och slutsatser om framtiden görs, är själva analysen. För att få en solid analys är det även viktigt att koppla till det som modellen inte kan fånga (t.ex. interaktion med marknader för icke-energimarknader) eller inte lämpar sig för att fånga (t.ex. ekologiskt fotavtryck, institutionella hinder). Steg 3 resulterar ofta i en bättre förståelse av det "studerade systemet", vilket innebär en ny inblick i hur systemet ska representeras (steg 1). Det är detta som vi tar fasta på i den här presenterade studien.



Figur 1. Systemanalysmetodik tillämpat på modelleringsprocessen. Först förenklas det betraktade systemet och en konceptuell modell av det betraktade systemet upprättas (steg 1). Därefter sorteras alla antaganden i en matematisk modell och algoritmerna löses (steg 2). Slutligen tolkas modellresultaten och slutsatser dras om det framtida energisystemet (steg 3). Slutsatserna kan sedan användas i kombination med annan analys för att fatta politiska beslut. Figuren är hämtad från (Krook Riekkola, 2015).

2.2 TIMES-SWEDEN

TIMES-Sweden är en energisystemmodell som omfattar hela Sveriges energisystem, dvs. både tillförsel, energiomvandling och användarsektorer (inklusive transportsektorn). Detta till skillnad från exempelvis BeWhere Sweden som tittar på delar av energisystemet. TIMES-Sweden bygger på energisystemmodellverktyget TIMES, vilket är en akronym för "The Integrated MARKAL-EFOM System" och har utvecklats inom ramen för ETSAP⁴. TIMES/MARKAL-baserade modeller är lika mycket analysverktyg som metod för hur man kan analysera ett energisystem (Tosato, 2009).

TIMES erbjuder en detaljerad beskrivning av eventuella lokala, nationella eller multinationella energisystem, och möjliggör utforskandet av möjliga energiscenarier. Den dynamiska modelleringsplattformen medger en flexibel uppdelning av tidsperioder under den modellerade tidshorisonten (Loulou *et al.*, 2016). Till skillnad från många andra "bottom-up"-baserade energisystemmodeller antar TIMES att efterfrågan på energi är mottaglig för prisförändringar. Modellen möjliggör en flexibel beskrivning av olika typer styrmedel, t.ex. skatter, subventioner, köp- och säljbara certifikat (t.ex. elcertifikat), och kan tillämpas på såväl bränslen och utsläpp som på tekniker (aktivitet och kapacitet). Kostnaden för ett scenario med påtvingad klimatpolitik innebär ökade systemkostnader i modellen jämfört ett baslinjescenario (utan policys). Eftersom alla investeringskostnader anges på årsbasis (givet en viss ekonomisk livslängd och diskonteringsränta) är det enkelt att presentera förändringen i systemkostnaden för ett givet år.

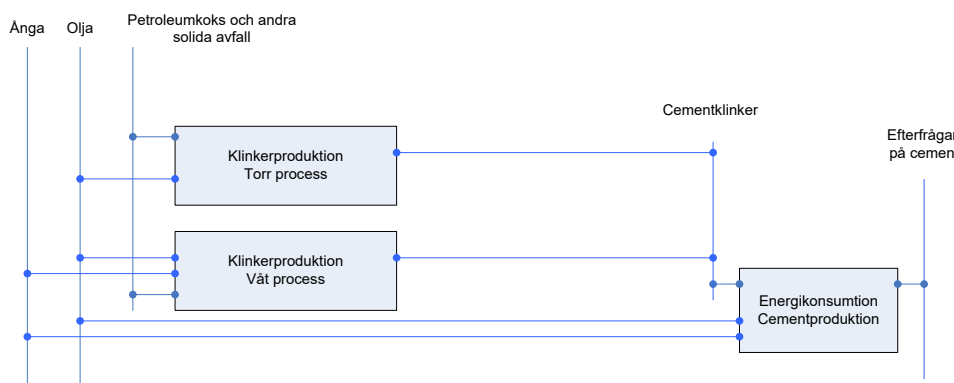
TIMES-baserade modeller beräknar en jämvikt i de energisektorer som modellen omfattar (dvs. en partiell jämvikt av ekonomin). Vid denna jämvikt produceras exakt så mycket som konsumenterna är villiga att köpa och det totala överskottet (konsument- plus producentöverskott) är maximerat. Det här jämviktsvillkoret är närvarande vid varje del av energisystemet och beräknas med hjälp av linjärprogrammering (LP). TIMES utgår från att det råder fullständig konkurrens, och således också perfekt information, på energimarknaden. Detta innebär att aktörerna har fullständig kunskap om den rådande och den framtida utvecklingen av olika parametrar.

TIMES inkluderar både teknikrelaterade variabler och flödesrelaterade variabler, vilket innebär att det är lättare att skapa mer flexibla processer och begränsningar. Processer och tekniker är i TIMES beskrivna med hjälp av ett antal tekniska och ekonomiska parametrar. Således är varje teknologi explicit identifierad och särskild från alla andra tekniker i modellen. Detta gör det möjligt att beskriva användarsidan med flera processteg, se t.ex. Figur 2 som illustrerar hur delar av cementindustrin kan representeras i TIMES.

Givet en tillgång av olika energiresurser och produktionstekniker, så optimeras i **TIMES** användningen av olika energibärare och gjorda investeringar (i nya tekniker) för att nå en given efterfråga av energirelaterade varor av tjänster till minsta möjliga kostnad (Gargiulo, Vaillancourt and De Miglio, 2016; Loulou *et al.*, 2016). TIMES är konstruerat på ett sådant sätt att antalet teknologier och deras

⁴ The Energy Technology Systems Analysis Program (ETSAP) är ett av IEAs samarbetsprogram och syftar till att utveckla och underhålla TIMES plattformen och TIMES modeller. <https://iea-etsap.org>

relativa topologi kan förändras helt och hållet utan att ändra några andra modellekvationer. Med andra ord är modellen i stor utsträckning datadriven vilket implicerar att olika sektorer av energisystemet kan modelleras med olika detaljnivå om så önskas.



Figur 2. Ett exempel på representation av cementindustrin i TIMES (Gargiulo, Vaillancourt and De Miglio, 2016)

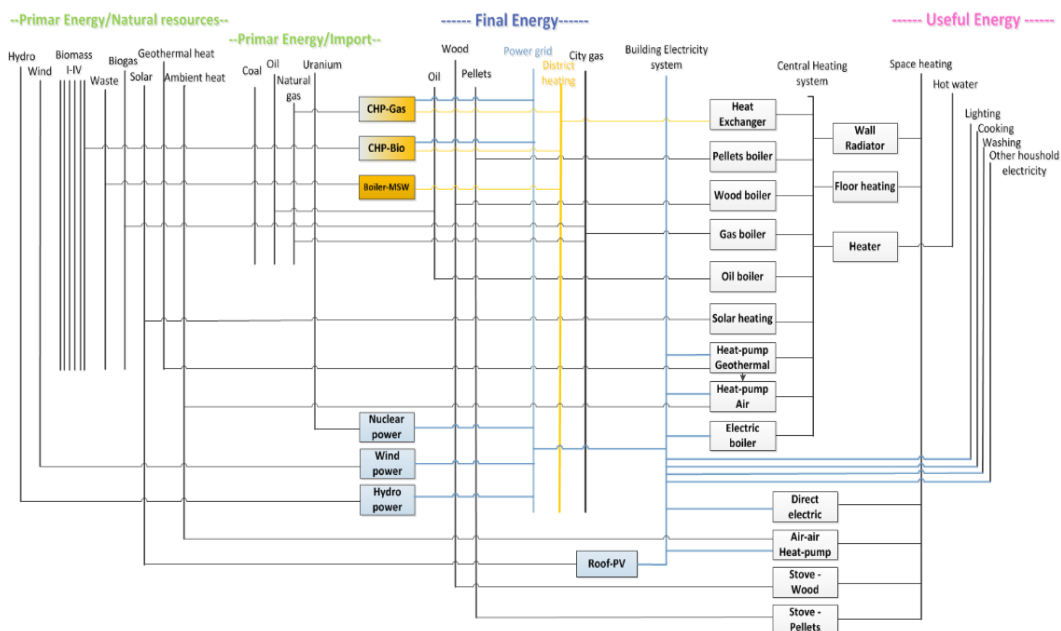
Modellstrukturen i **TIMES-Sweden** är från början utvecklad inom ramen för två EU-projekt (NEEDS⁵ respektive RES2020⁶), och har därefter uppdaterats och anpassats till det svenska energisystemet och dess nationellt specifika karaktäristik (se Krook Riekkola 2015). TIMES-Sweden delar modellstruktur och en hel del antaganden med den europeiska TIMES-modellen JRC-EU-TIMES (se Simoes et al. 2013).

TIMES-Sweden beskriver ett stort antal befintliga och potentiella energitekniker, och innehåller en detaljerad beskrivning av det stationära energisystemet, transportsektorn, industrisektorn (där respektive energiintensiv industri hanteras separat), service- och tjänstesektorn, hushåll, och jordbrukssektorn. För att representera variation – i å ena sidan energibehovet och å andra sidan genom intermittent kraftproduktion – så delas varje år in i tolv så kallade tidssteg (fyra årstider som i sin tur är uppdelade i tre dygnbaserade förbrukningsperioder: dag-/natt-/maxlast).

TIMES-Sweden tittar på hela energisystemet från primärenergi/råvara till användning av energirelaterade tjänster och varor, såsom exempelvis årlig transportefterfrågan i personbilar (i personkilometer); behov av rumsvärme i enfamiljshus placerade i storstäder (i PJ); producerad mängd stålprodukter (i ton stål). Modellen beskriver ett stort antal befintliga och potentiella energitekniker och processer som omvandlar energi från en typ till en annan. En förenklad beskrivning av några processer och råvaror ges i Figur 3. Primärenergi omfattar både inhemska energikällor och import. Dessutom omfattar försörjningssektorn raffinering av några av de primära energikällorna till sekundära energibärare. Vad gäller el och fjärrvärme så finns olika typer av anläggningar; central kraftproduktion, produktion kopplat till ett fjärrvärmenät och/eller en industri samt decentraliserad kraftproduktion.

⁵ NEEDS: 'New Energy Externalities Development for Sustainability' (NEEDS) var ett forskningsprojekt inom ramen för Europeiska Kommissionens sjätte ramprogram, Research Stream 2a 'Modelling internalisation strategies, including scenario building'. Finns att läsa om på hemsida: www.needs-project.org.

⁶ RES2020 (2009), RES2020 (2007)



Figur 3. Förenklad illustration av några energiflöden i TIMES-Sweden.

2.3 BEWHERE SWEDEN

I övriga delar av denna rapport används ofta endast beteckningen "BeWhere", även när det är den specifika modellen BeWhere Sweden som avses. I detta avsnitt behandlas även andra BeWhere-modeller, varför det fulla namnet "BeWhere Sweden" av tydlighet skrivs ut när det är denna modell som avses.

BeWhere är en modellfamilj av teknoekonomiska, geografiskt explicita optimeringsmodeller som används för analys av lokalisering och egenskaper för olika energianläggningar. BeWhere har utvecklats vid IIASA (International Institute for Applied Systems Analysis) i Österrike och vid Luleå tekniska universitet (LTU) sedan 2006⁷. Modellen har tillämpats på regions-, lands och Europanivå, och är under konstant utveckling. Ursprungligen var tillämpningsområdet begränsat till bioenergianläggningar (se t.ex. Leduc *et al.*, 2009; Schmidt *et al.*, 2010; Wetterlund, Leduc, Dotzauer, *et al.*, 2013; Natarajan *et al.*, 2014), men har under senare år vidgats till att även innefatta bl.a. sol-, vind-, vattenkrafts- och algbaserade anläggningar (se t.ex. Slegers *et al.*, 2015; Campana *et al.*, 2017; Mesfun *et al.*, 2017). BeWhere baseras på blandad heltalsoptimering (MILP). Modellen är skriven i den kommersiella programvaran GAMS och använder CPLEX som lösare.

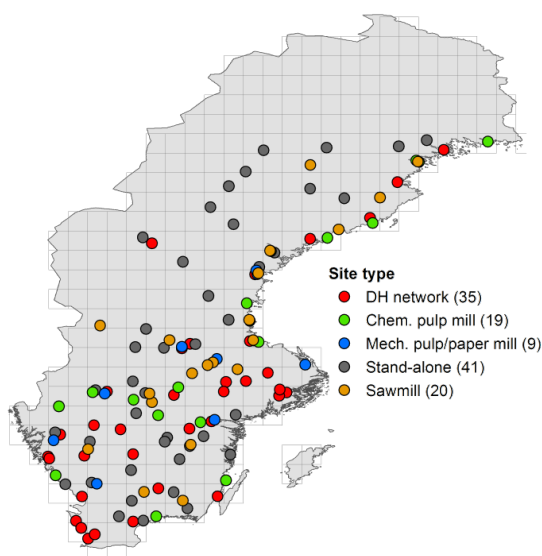
BeWhere Sweden, som sedan 2012 utvecklas och används vid LTU⁸, är fokuserad kring skogsbiomassa, biodrivmedelsproduktion och utformning av olika skogs-baserade bioenergivärdekedjor. Jämfört med TIMES-Sweden täcker BeWhere

⁷ För mer info, se <http://www.iiasa.ac.at/bewhere>

⁸ BeWhere Sweden har främst utvecklats inom ramen för ett flertal projekt finansierade av f3, Svenskt kunskapscentrum för förnybara drivmedel och Energimyndigheten. Modellen utvecklades till en början vid Linköpings universitet, men utvecklas och körs sedan 2013 vid LTU.

Sweden därmed en betydligt mer begränsad delmängd av det svenska energisystemet. BeWhere Sweden delar modellstruktur och en hel del antaganden med den europeiska modellen BeWhere EU, men särskiljer sig från denna och andra BeWhere-modeller genom den höga detaljeringsgraden vad gäller såväl biomassaresurser, som industriell integration av biodrivmedelsproduktion, där möjliga lokaliseringar till stor del modelleras individuellt med hänsyn till energibalanser med respektive utan integrerad biodrivmedelsproduktion. Modellen används främst för att analysera *hur* framtida biobaserade värdekedjor kan implementeras kostnadseffektivt ur ett systemperspektiv, vilken roll existerande energinfrastruktur (industri, energianläggningar) kan spela, samt hur olika parametrar inverkar på t.ex. val av omvandlingstekniker, lokalisering och integration, i ett system där samma begränsade resurs (biomassa) efterfrågas även från andra sektorer. Resultaten kan vara av nytta som beslutsstöd för såväl intressenter i exempelvis biodrivmedelsproduktion, som för politiska beslutsfattare.

Modellen är geografiskt explicit vad gäller tillgångar på och användning av biomassa (inklusive avverknings- och uttagskostnader för olika skogssortiment), potentiella lokaliseringar för biodrivmedelsproduktion, och transportinfrastruktur. Ett basnät med en halv grads spatial upplösning (totalt 334 celler) används för att beskriva biomassatillgångar, medan efterfrågan och potentiellt nya anläggningslokaliseringar beskrivs explicit. Figur 4 ger en översikt över den geografiska representationen, inklusive beaktade lokaliseringalternativ för nya anläggningar.

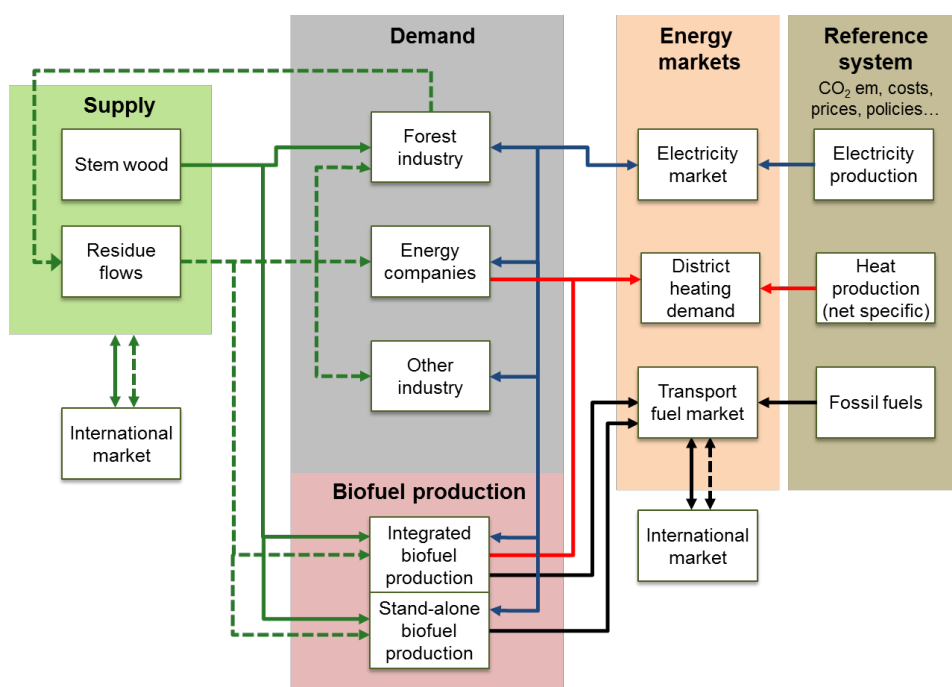


Figur 4. Översikt över den geografiska indelningen i BeWhere Sweden (basnät samt potentiella lokaliseringar för nya produktionsanläggningar för biodrivmedel).

BeWhere Sweden minimerar kostnaden för hela det studerade systemet, för att möta en viss definierad produktionsvolym av avancerade biodrivmedel och efterfrågan på biomassa i andra sektorer. Systemkostnaden inkluderar kostnader och intäkter för produktion och transport av biomassa, produktionsanläggningar, transport och leverans av biodrivmedel, försäljning av biprodukter, samt ekonomiska styrmedel. Kostnaden minimeras under ett antal olika randvillkor som beskriver och begränsar t.ex. tillgång och efterfrågan på biomassa, eventuell

import/export av biomassa, anläggningsdrift och efterfrågan på slutprodukter. Modellen kommer således välja de minst kostsamma kombinationerna av råvaror, produktionsanläggningar och leveranser av biodrivmedel, samtidigt som efterfrågan på biomassa i andra sektorer tillgodoses. Modellen körs statistiskt för ett år, i den här studien år 2030. Som resultat ut från modellen erhålls en uppsättning nya anläggningar för biodrivmedelsproduktion som krävs för att uppfylla det definierade produktionsmålet, resulterande försörjningskedjekonfigurationer, ursprung för använd bioråvara, samt kostnader relaterat till de olika delarna av försörjningskedjan.

Figur 5 ger en schematisk översikt över de huvudsakliga flödena i BeWhere Sweden. För mer detaljer kring BeWhere Sweden, se (Wetterlund, Pettersson, Lundmark, *et al.*, 2013; Wetterlund, Pettersson, Mossberg, *et al.*, 2013; Pettersson *et al.*, 2015).



Figur 5. Schematisk representation över de huvudsakliga flödena i BeWhere Sweden.

2.4 MODELLJÄMFÖRELSE

Det finns många olika sätt att gruppera och jämföra modeller. I denna studie har vi valt att utgöra en systematisk modelljämförelse utifrån systemangreppssättet som beskrivet av Churchman (1968). Churchman delar upp sättet att tänka kring systemet i fem olika delar, beskrivna nedan. Resultatet från den genomförda modelljämförelsen finns sammanställd i Tabell 1-Tabell 5.

1. Systemets allmänna målsättning och prestationsmått för systemet i dess helhet;
2. Systemets miljö, de fasta restriktionerna;
3. Systemets resurser;
4. Systemets komponenter, deras aktivitet, mål och prestationsmått;
5. Ledningen av systemet.

Tabell 1. Modelljämförelse 1 – Systemets allmänna målsättning och prestationsmätt för systemet i dess helhet.

	TIMES-Sweden	BeWhere Sweden
Övergripande mål och resultatmätt	Minimering av systemets totala kostnad för att uppfylla en given efterfrågan under givna begränsningar vad gäller teknik, naturresurser och miljörestriktioner	Minimering av systemets totala kostnad för att uppfylla en given efterfrågan av biomassa, under givna begränsningar vad gäller teknik och biomassatillgångar.
Syfte med modellen	Stödja den beslutsfattande processen att nå ett hållbart energisystem genom att analysera effekterna av olika miljöpolitiska alternativ. Mer specifikt bidrar modellen att kvantifiera förhållanden mellan olika delar av energisystemet, under olika förhållanden/ scenarier.	Bestämma kostnadseffektiva lokaliseringar för biodrivmedelsproduktion och bioraffinaderier och analysera genomförbarhet av politiska mål för biodrivmedel under olika förutsättningar, bidra med kunskap om viktiga egenskaper hos det framtida bioenergisystemet till relevanta aktörer, samt stödja den beslutsfattande processen.

Tabell 2. Modelljämförelse 2 – Systemets miljö, de fasta restriktionerna, avgränsningar.

	TIMES-Sweden	BeWhere Sweden
Sektorer	Uppdelad i 3 hushållsgrupper, 1-2 kontor/offentliga sektorer, >15 industri- och jordbrukssektorer, och 6 transportformer. Varje sektor är beskriven i detalj, nivån beror på komplexiteten i energianvändningen i kombination med tillgänglig data.	Endast de viktigaste användarna och producenterna av skogsbiomassa är representerade (sågverks- och massa- och pappersindustri, stationära energisektorn, skogsbaserade drivmedel). Varje sektor beskrivs i detalj och geografiskt explicit.
Geografisk uppdelning	Sverige är beskriven som en region. (Fjärrvärmennäten är grovt uppdelade för att representera avstånd till biomassa).	Sverige är uppdelat i ett rutnät om 0,5 rader (334 celler) vilket används för att representera tillgång på biomassa. Potentiella värindustrier och annan användning av biomassa anges geografiskt explicit.

Tabell 3. Modelljämförelse 3 – Systemets resurser.

	TIMES-Sweden	BeWhere Sweden
Natur-resurser	Biomassapotentier, vindkraft, vattenkraft,	Biomassapotentier
Tekniska resurser	Befintliga kraftverk, värmeverk, energiinstallationer, processanläggningar i energiintensiv industri, infrastruktur,	Befintliga biokraftverk (el, värme), befintliga skogsindustri, befintlig infrastruktur,
Import	Fossila bränslen, biobränslen, elektricitet,	Biomassa
Ekonomiska	Obegränsat	Obegränsat

Tabell 4a. Modelljämförelse 4 – Systemets komponenter, deras aktivitet, mål och prestationsmätt. Komponenter

TIMES-Sweden		BeWhere Sweden
Komponenter		
Tid	Dynamisk	Statisk
Tids- horisont	Flexibel tidshorisont (idag: var 5:e år fram till 2030 eller 2050).	2030, kan ändras till exempelvis 2050
Tids-indelning	12 tidsperioder (dag/natt/peak, och fyra olika säsonger).	En tidsperiod (ett år)
Energibärare	> 200 olika energibärare (sektors-specifika energibärare definierade separat från sekundära).	10+ olika biomassasortiment, (kol, gas, olja), elektricitet, fjärrvärme
Emissioner	CO ₂ , NO _x , PM ₁₀ , PM ₂₅ , SO ₂ , VOC	CO ₂
Material	Paper: Wood, Recycled, Pulp, Sodium Hydroxide, Oxygen, Kaolin, Gypsum. Järn&stål: Alloys, Blast Furnace Slag, Briquettes, Crude Steel, DRI Iron, Ore, Oxygen, Plates, Pellet, Quick Lime, Ferrochrome, Raw Iron, Scrap Iron, Slabs, Sinter, etc.	Nej
Certifikat	Gröna certifikat, EU-ETS	Nej (bara indirekt med)

Tabell 5b. Modelljämförelse 4 – Systemets komponenter, deras aktivitet, mål och prestationsmått. Aktivitet samt Mål- och prestationsmått.

TIMES-Sweden		BeWhere Sweden
Aktivitet		
Energisektorer	Detaljerat beskrivna: El, fjv och biodrivmedel. Aggregerat beskrivna: Gas, råolja, raffinerade petroleum. Industriella biprodukter: Svartlut, masugns gas (järn&stål), etc.	Detaljerat beskrivna: avancerade biodrivmedel, skogsindustri, biokraftvärme Industriella biprodukter: svartlut (internanvändning), biprod. från sågverk, massa/pappersindustri.
Energi-omvandlings-tekniker	Diskreta processer/tekniker med tekniska och ekonomiska parametrar som varierar över tid för att beakta teknikutveckling/-lärande.	Diskreta processer/tekniker med tekniska och ekonomiska parametrar
Energibalans	Energibalans kalibreras för basåren i enlighet med officiell energistatistik.	Modellen kalibreras mot befintlig statistik för relevanta skogsbiomassasektorer.
Priser	Modellen <i>beräknar</i> en partiell jämvikt för de nationella energimarknaderna (skuggpris för respektive levererad energibärare). Energibärare som importeras/exporteras eller utvinns har <i>exogent givna priser</i> som kan variera över tid. Baserade på officiella källor, normaliserade till basåret.	Exogent givna priser och kostnader. Geografiskt explicit kostnadsmodell för uttag av skogsbiomassa används för att beräkna uttagskostnad för stamved, avverkningsrester och stubbar i varje rutnätscell. Kalibrering mot statistik. Normalisering av priser till basåret.
Skatter/subv.	I enlighet med officiella källor	Scenariobaserat
Övriga styrmedel	Elcertifikatsystemet (endogent), EU-ETS (exogent), ...	Elcertifikat, biodrivmedelscertifikat, CO ₂ -utsläpp
Mål- och prestationsmått		

Policymål	Mål för utsläpp, förnybar energi, energieffektivitet, biodrivmedel etc.	Mål för biodrivmedel
Prestationsmätt	Total systemkostnad för att möta given efterfråga under givna begränsningar. Sektorsspecifika kostnader, slutlig energianv. och priser, utsläpp, etc. Effektivitet och aktivitet per process.	Total systemkostnad, kapitalbehov för att möta givet biodrivmedelsmål, biomassaanvändning, biomassatransportbehov, CO ₂ -utsläpp (direkta och indirekta)

Tabell 5. Modelljämförelse 5 – Ledningen av systemet.

	TIMES-Sweden	BeWhere Sweden
Vem kan påverka det analyserade systemet?	Beror på syftet med analysen, men vanligen de som utformar de övergripande miljö och klimatmålen, samt styrmedel för att nå dessa mål (t ex Regeringen, Energimyndigheten, Naturvårdsverket)	Politiska beslutsfattare (mål för biodrivmedel, investeringsstöd osv)

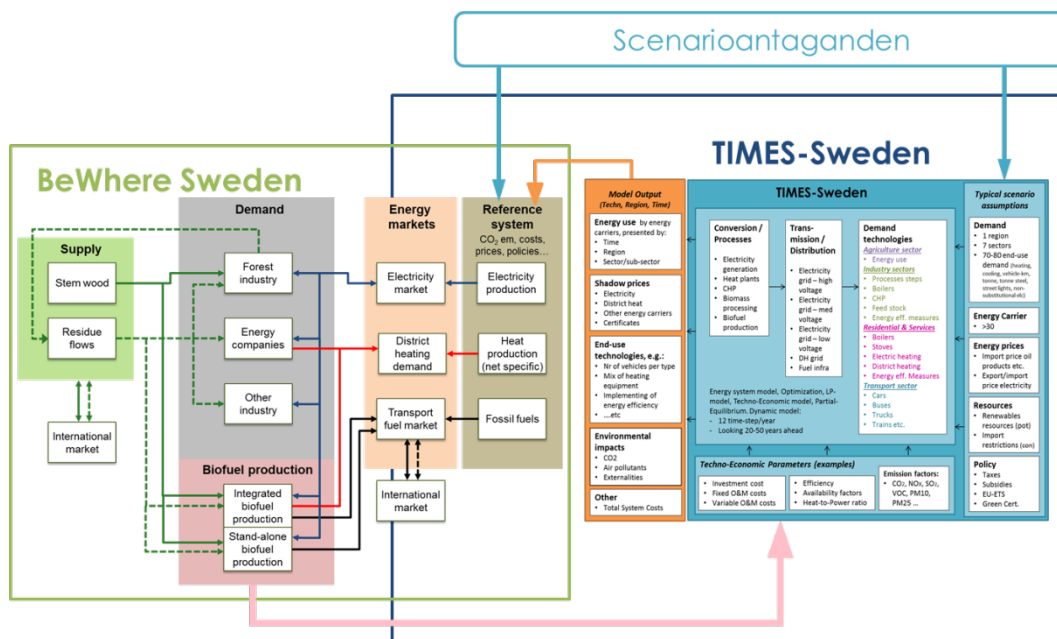
2.5 MODELLÄNKNING

Utifrån den genomförda modelljämförelsen har ett antal områden identifierats där modellerna kan mjuklänkas för integrerad analys⁹. I detta avsnitt sammanfattas hur modellerna kan kommunicera med varandra. Den beskrivna länkningen utgår från att modellerna utvecklas för att underlätta en mjuklänkning, dvs. att t.ex. modellstruktur har harmoniserats mellan modellerna. Modellutvecklingen finns beskriven i kapitel 4.

Figur 6 illustrerar modelllänkningen översiktligt. Länkningen kan göras på två sätt:

- **Envägslänkning** TIMES-Sweden → BeWhere Sweden (output från TIMES-Sweden utgör input till BeWhere, enligt identifierade områden nedan).
- **Tvåvägslänkning** TIMES-Sweden ⇌ BeWhere Sweden, där modellerna körs iterativt till konvergens (om möjligt).

⁹ Notera att denna rapport inte innehåller några resultat från modellkörningar där modellerna länkats, utan modellerna har körts var och en för sig, med gemensam analys av resultaten.



Figur 6. Översikt över modellänkning mellan TIMES-Sweden och BeWhere Sweden.

2.5.1 Från TIMES-Sweden till BeWhere Sweden

I BeWhere Sweden anges energimarknadsparametrar exogent (priser på energibärare, styrmedel etc., betecknat "Reference system" till vänster i Figur 6 ovan), liksom exempelvis allokering av biomassa till fjärrvärmesektorn och behov av biodrivmedel (betecknat "Energy markets" i figuren). TIMES-Sweden modellerar istället hela energisystemet, inklusive interaktioner mellan olika sektorer, och fångar därmed konkurrensen mellan olika energibärare för att möta olika typer av behov. El- och fjärrvärmepreiser, produktion av biodrivmedel, allokering av biomassa mellan sektorer och till olika ändamål blir således resultat från modellen. Vid en länkning kan output från TIMES-Sweden delvis utgöra input till BeWhere's referenssystem och energimarknad, medan resterande scenarioantaganden (som ges exogent även i TIMES-Sweden) synkroniseras med input till TIMES-Sweden. Detta skulle kunna stärka modellanalys med BeWhere genom att antaganden till modellen hänger ihop, dvs. baseras på samma förutsättningar.

Exempel på information från TIMES-Sweden till BeWhere Sweden:

- Mängd och typ av biobränslen
- Elproduktionsmix och skuggpris
- Fjärrvärmeproduktion (totalt behov samt bränslemix)
- Transportbränslebehov (totalt samt andel biodrivmedel i mixen)

2.5.2 Från BeWhere Sweden till TIMES-Sweden

I TIMES-Sweden tas ingen explicit hänsyn till avstånd mellan bioråvaror och produktionsanläggningar (biodrivmedel, biokraftvärme, industri, etc.), vilket gör att geografiska aspekter inte fångas av modellen. Vid en länkning kan den geografiskt explicita BeWhere, som identifierar *var* biodrivmedel produceras till lägsta kostnad för hela systemet, bidra med avståndsrelaterad input till TIMES-

Sweden vilket kan skapa en ny konkurrenssituation i modellen. I TIMES-Sweden aggregeras vidare produktionsanläggningar för biodrivmedel per tekniktyp, vilket uttrycks med linjära kontinuerliga variabler. I BeWhere, som uttrycker drivmedelsanläggningar i form av heltalsvariabler, modelleras istället varje produktionsanläggning explicit vilket gör att skaleffekter och faktiska existerande integrationsmöjligheter fångas av modellen. Vid en envägslänkning TIMES → BeWhere kan BeWhere användas för att ge en "reality check" för modellresultaten från TIMES-Sweden.

Exempel på information från BeWhere till TIMES-Sweden:

- Stämna av att teknikval/industriintegrering i TIMES-Sweden är realistiska
- Transportbehov som
 - × transportkostnader, och/eller
 - × transportbehov per bioenergivar (x) till slutanvändare (z)
- Skogsavverkningskostnader där geografisk kostnadsstruktur fångas

3 Betraktade system i denna studie

I detta kapitel ges en beskrivning av dels centrala delar av systemet som analyseras i denna studie, dels centrala systemkomponenter som täcks av både TIMES-Sweden och BeWhere Sweden, och där modellutveckling genomförts för att harmonisera indata och modellstruktur. Utvecklingen för respektive modell beskrivs sedan vidare i nästa kapitel.

3.1 FJÄRRVÄRME

3.1.1 Uppvärmning av bostäder och lokaler

Uppvärmning och varmvatten i småhus, flerbostadshus och lokaler stod år 2015 för 21% av Sveriges slutanvändning av energi, varav 58% kom från fjärrvärme (Energimyndigheten, 2017).

I TIMES-Sweden beskrivs byggnaders värmebehov indelat i 16 olika, så kallade, användarsegment. Småhus-storstad, småhus-småstad, flerfamiljshus och lokaler finns alla representerade som existerande/nya med uppvärmnings- respektive varmvattenbehov. Uppvärmning och varmvatten anges i TIMES-Sweden som nyttiggjord energi, dvs. den energimängd som kommer ut från uppvärmnings-systemet (värmeväxlaren, pellets pannan, elradiatorn etc.). I modellen finns dagens uppvärmningssystem beskrivet med avseende på olika tekniker och energislag, samt att det finns möjlighet att investera i nytt uppvärmningssystem (vilket sker när existerande tekniks livslängd har antagits ta slut, alternativt när bränslen i existerande teknik i optimeringen blir dyrare jämfört med ny teknik och dess bränsle/n).

Olika byggnadstyper har i modellen olika användarprofiler över året (större variation mellan uppvärmning i existerande byggnader jämfört med nya byggnader), för att fånga variation mellan säsonger (rumsvärme) och mellan natt/dag (varmvatten).

3.1.2 Fjärrvärmesystem

Fjärrvärme är den vanligaste uppvärmningsformen i Sverige och används för att värma mer än hälften av alla bostäder och lokaler. Totalt finns runt 400 fjärrvärmesystem i Sverige, där biobränslen, avfall och industriell överskottsvärme står för ungefär tre fjärdedelar av den totala värmeförsörjningen. Nästan hälften av den totala värmeproduktionen sker i kraftvärmeverk, och den årliga elproduktionen i kraftvärmeverk i Sverige är runt 7-10 TWh (Energiföretagen, 2017; Energimyndigheten, 2017).

Fjärrvärmens roll och representation skiljer sig åt mellan de två modellerna. I TIMES-Sweden definieras – för varje byggnadstyp – ett årligt behov av uppvärmning och varmvatten, där fjärrvärme är *ett av flera* sätt att tillgodose detta behov (se kapitlet ovan). För att *till viss del* fånga geografiska och sitespecifika skillnader och för att inte framställa fjärrvärmesektorn som mer flexibel än den

egentligen är, är fjärrvärmenäten grupperade i sex kategorier, med olika produktionsmix och kostnader associerade med respektive typ. Tabell 6 visar indelningen av fjärrvärmenäten i kategorier, medan Tabell 7 visar hur Sveriges fjärrvärmenät fördelas på respektive kategori. Indelningen baseras på arbete inom Fjärrsynsprojektet "Fjärrvärmen och de långsiktiga klimatmålen", se (Krook Riekkola and Söderholm, 2013). De mellanstora och mellansmå näten är i sin tur uppdelade i nät som ligger "nära" (BIO) respektive långt bort (ÖVR) från skogsavverkningen, dvs. möter olika kostnader vid inköp av biobränsle.

TIMES-Sweden tillåter viss bränsleflexibilitet i de modellerade fjärrvärmesystemen samt olika typer av nyinvesteringar, vilket gör att såväl allokeringen av olika bränslen (t.ex. biobränslen) till fjärrvärmesektorn som den fjärrvärmebaserade elproduktionen varierar utifrån analyserat scenario.

I TIMES går att beskriva biodrivmedelsproduktion både som separata anläggningar, i kombination med produktion av fjärrvärme (och el), samt i anslutning till industrin. Hur biodrivmedelsproduktion har representerats i modellen finns vidare beskrivet under kapitlet modellutveckling, avsnitt 4.1.3.

Tabell 6. Definition av fjärrvärmenät i TIMES-Sweden baserad på vilken typ av investeringar som är aktuella (Krook Riekkola and Söderholm, 2013).

	Stora FV-nät	Mellanstora FV-nät	Mellansmå FV-nät	Små FV-nät
Årligt levererad mängd fjärrvärme	>1000 GWh	300-1000 GWh	100-300 GWh	< 100 GWh
Kraftvärmeverk (KVV), eleffekt	Alla	<50 MW _e	<20 MW _e	Small/Micro CHP
Avfallsförbränning	Ja	Ja	Nej	Nej

Tabell 7. Fördelningen av fjärrvärmenät i TIMES-Sweden inom respektive fjärrvärmekategori. Värderna refererar till år 2010 och baseras på statistik från Svensk Fjärrvärme (2011).

	Antal FV-nät		Årlig levererad mängd värme		Medelvärme per FV-nät
	Antal	%	TWh	%	GWh
Stora (>1000 GWh)	18 ^a	4,0	32,2	52,9	1789
Mellanstora Bio (300-1000 GWh)	20	4,5	11,1	18,2	554
Mellanstora Övr (300-1000 GWh)	6	1,3	3,2	5,2	528
Mellansmå Bio (100-300 GWh)	35	7,8	5,1	8,4	147
Mellansmå Övr (100-300 GWh)	19	4,3	3,2	5,2	167
Små (<100 GWh)	348	78,0	6,2	10,1	18
Alla	446		60,9		137

^a Alla individuella nät levererar inte nödvändigtvis över 1000 GWh värme per år då kategorin stora nät även inkluderar ihopkopplade nät som tillsammans agerar som ett stort nät.

I BeWhere är den stationära energisektorn betydligt mer statiskt modellerad än i TIMES-Sweden, och beaktas endast i form av biomassabehov till kraftvärme- och värmeverk (exogent definierat). Modelleringen är geografiskt explicit, vilket innebär att hänsyn tas till var behoven är lokaliserade. Viss flexibilitet finns i vilken mix av biomassa (t.ex. grot, RT-flis, stubbar osv.) som allokeras till respektive site. Ett urval av kraftvärmeverk och fjärrvärmenät beaktas också explicit i form av potentiella värdar för integrerad biodrivmedelsproduktion, genom antingen konvertering av befintliga biopannor eller som värmesänkor för överskottsvärme från drivmedelsanläggningar.

Inom ramen för denna studie har fjärrvärmens representation i BeWhere delvis omstrukturerats för att matcha den i TIMES-Sweden. Dessutom har fjärrvärmenätens roll som potentiella värdar för biodrivmedelsproduktion vidareutvecklats. Detta beskrivs vidare i avsnitt 4.2.

3.2 BIOMASSA

Biomassa¹⁰ är en central del av denna studie, och det område där mest utveckling gjorts för att harmoniera modellrepresentationen i de båda modellerna. Medan biomassa är det primära fokuset i BeWhere Sweden utgör den i TIMES-Sweden en delmängd bland många andra energibärare och resurser. Samtidigt innehåller TIMES-Sweden betydligt fler olika typer av biomassa (t.ex. från jordbrukssektorn samt torv) medan BeWhere är fokuserad på skogsbiomassa, men istället har en detaljerad uppdelning såväl i olika sortiment, som i geografisk fördelning av tillgångar och kostnader.

I modellutvecklingsarbetet har biomassarepresentationen i TIMES-Sweden uppdaterats för att bättre representera förhållandena mellan uttag av rundved från skogen (sågtimmer och massaved) i relation till restprodukter från avverkning, samt mellan skogsindustriell produktion och industriella restprodukter. Detta ger en struktur för biomassarepresentationen som i stort motsvarar den existerande representationen i BeWhere, vilket möjliggör modellänkning. Indata för biomassa i BeWhere har tidigare byggts på data från SKA 08 (se beskrivning i Lundmark, Athanassiadis and Wetterlund, 2015; Pettersson *et al.*, 2015), men har inom ramen för detta projekt uppdaterats (både i BeWhere och i TIMES-Sweden) till att vara baserat på data från SKA 15 (Swedish Forest Agency, 2015). BeWhere har också kompletterats med ytterligare biomassasortiment, för att matcha TIMES-Sweden.

Vad gäller användning av biomassa kan potentiellt all biomassa användas som energiråvara. Dock används rundved främst till materialframställning (sågat virke respektive massa/papper). Även för energiändamål finns begränsningar för användbarheten avseende kvalitet, storlek och andra egenskapsmått såsom fukthalt och värmevärde. Detta motiverar en indelning av biomassan i systemmodellerna utifrån olika kvaliteter. Biomassa kan antingen användas som ren biomassa eller som förädlad biobränsle. Det är restriktioner hos slutanvändarna

¹⁰ I denna studie är fokus framförallt på biomassa från skogen, varför termen "biomassa" i denna rapport framförallt används för att beteckna fast biomassa med ursprung i skoglig råvara.

(främst bioeldade värmepannor av olika storlekar och för olika ändamål) som motiverar indelningen i modellen.

Tabell 8 ger en översikt över de biomassaresurser och användningsområden som inkluderas modellerna, efter modellutveckling genomförd i denna studie. Notera att kopplingarna mellan biomassasortiment och användningsområden inte är statiska i modellerna, utan kan ändras beroende på avsedd modellanalys. Vid länkning mellan modellerna kommer dessa kopplingar synkas så att båda modellerna tillämpar samma resurs-/användningsmatris.

Tabell 8. Beaktade sortiment av och användningsområden för biomassa i TIMES-Sweden (T) och BeWhere Sweden (B), efter modellutveckling utförd inom ramen för denna studie. Markeringar inom parentes är ej inkluderade i denna studie, men är i färd att implementeras.

Biomassa-sortiment	Användningsområden							
	Sågverksråvara	Fiberråvara massaindustri	Sågverk, bioenergi	Massa-/ pappers-ind., bioenergi	Stationära energisektorn	Pelletsprod.	Biodrivmedel	Bostäder och lokaler
Sågtimmer	(T) / B	(T) / B			(T)	(T)	(T)	
Massaved		T / B		B	T / B	(T)	T / B	
Grot			(T)	T / B	T / B		T / B	
Stubbar			(T)	T / B	T / B		T / B	
Returträ/RT-flis				B	T / B		T	
Energiskog ^b			(T)	T	T / (B)	(T)	T / (B)	
Pellets					T			T
Sågverksflis		(T) / B	(T) / B	T / B	T / B	(T) / (B)	T / B	
Skogsindustriella biprodukter ^c			B	B	B	(B)	B	
Sågspån ^c			(T)	T	T	(T)	T	
Bark ^c			(T)	T	T		T	
Brännved								T
Torv ^d					T			

^a I BeWhere är skogssortimenten ytterligare uppdelade på "gallring" respektive "föryngrings-avverkning", för att ge en mer detaljerad kostnadsstruktur.

^b Energiskog har delvis (potential från nedlagd/övergiven åkermark) inkluderats i BeWhere inom ramen för ett pågående f3-projekt, men har inte beaktats i denna studie.

^c Sågspån respektive bark hanteras separat i TIMES-Sweden (pga. pelletsproduktion), men aggregerat i BeWhere.

^d Torv inkluderas ej i BeWhere.

3.2.1 Scenarier för biomassatillgångar

Som nämnts ovan tillämpas i de uppdaterade modellerna avverkningsscenarier från SKA 15 (Swedish Forest Agency, 2015) för att skatta framtida tillgångar på skogsbiomassa. SKA 15 innehåller sex olika scenarier för skogsbruk och avverkning. Potentialen för ökade uttag av primära skogsbränslen (grot och stubbar) skiljer sig åt väsentligt mellan scenarierna, vilket sammanfattas i Tabell 9. Tabellen listar tre olika potentialnivåer: "teoretisk", "ekologisk" respektive

”teknokonomisk”, för två av de sex scenarierna och för två olika tidsperioder. Teoretisk potential för grot innebär total potential baserat på den avverkning som inkluderas i scenariot (föryngringsavverkning inklusive gallring), medan för stubbar inkluderas endast skörd vid föryngringsavverkning. Ekologisk potential beaktar restriktioner inom Skogsstyrelsens rekommendationer för grotuttag respektive stubbskörd (Bilaga 2-3, Swedish Forest Agency 2015). Teoretisk och ekologisk potential har tagits direkt från SKA 15, medan den teknokonomiska potentialen beräknats utifrån restriktioner som användes i SKA 08 (för detaljer, se Börjesson 2016; SLU & Skogsstyrelsen 2008).

Tabell 9. Skogsbränslepotentialer i två olika scenarier i SKA 15, för 2030 och 2050 (Swedish Forest Agency, 2015). Notera att den teknokonomiska potentialen inte tagits direkt från SKA 15, utan skattats utifrån resonemanget i (Börjesson, 2016). De kursiverade fetstilta potentialerna är de som tillämpats i denna studie.

	2030-2039			2050-2059		
	Teoretisk	Ekologisk	Teknoekon.	Teoretisk	Ekologisk	Teknoekon.
Dagens skogsbruk						
Grot	62	46	31	68	52	34
Stubbar	49	28	16	51	30	17
Dubbla naturvårdsarealer						
Grot	51	38	25	56	42	28
Stubbar	38	22	13	40	24	13

Medan uttag och användning av grot för energiändamål redan idag är någorlunda omfattande (ca 10 TWh/år) är stubbskörd idag en marginell företeelse (<1 TWh/år). Intresset för stubbflis har varierat över tid och är i dagsläget lågt. Uttag och användning av stubbar är förknippat med relativt höga kostnader jämfört med grot, både vad gäller själva skörden och efterbehandlingen (transporter, krossning, rensning från föroreningar). Vid en övergång mot en mer biobaserad ekonomi kan stubbar dock komma att spela en större roll och forskning och utveckling relaterat till stubbskörd, såväl ur teknisk synpunkt som miljömässig, har bland annat genomförts inom programmet ”Stubbskörd och miljöeffekter” (finansierat av SLU, Energimyndigheten och skogsbranschen) (Persson, Palmér and Lithell, 2017).

Även om användning av skogsbiomassa för energiändamål generellt anses vara en nyckelfråga vad gäller att begränsa utsläppen av växthusgaser och uppfylla miljömålet ”Begränsad klimatpåverkan”, riskerar ökade uttag av skogsbränslen att ge upphov till konflikter med andra miljö kvalitetsmål. Särskilt vad gäller stubbskörd finns en farhåga att detta kan föra med sig negativa miljöeffekter. Det är därför viktigt att hitta en balans mellan hög produktion av skogsbränsle till låg bekostnad på övriga miljö mål.

Miljöpåverkan från ökat uttag av skogsbränslen och bedömning av långsiktigt hållbara uttagsnivåer har bland annat studerats av de Jong et al. (2017), som har utvärderat olika scenarier för uttag av grot och stubbar från skogen, samt av energiskog (short rotation forestry, SRF) och biomassa från nedlagd jordbruksmark. de Jong et al. bedömer att en ökning med drygt 2,5 gånger från dagens uttagsnivåer från skogen kan göras utan konflikter med miljö kvalitetsmålen. I synnerhet målen ”Levande skogar” och ”Ett rikt växt- och djurliv” begränsar

möjligheten till alltför höga uttag av både grot och stubbar, medan grotuttag även begränsas av miljökvalitetsmålet "Bara naturlig försurning". Sammanfattningsvis bedömer de Jong et al. att uttag av upp till 50% av all grot från föryngringsavverkade och gallrade ytor, och 10-20% av stubbarna från föryngringsavverkning bedöms som hållbart. Detta innebär totalt knappt 28 TWh grot och stubbar per år från slutavverkning och gallring kombinerat, vilket kan jämföras med dagens uttag på ca 10 TWh grot och mindre än 1 TWh stubbar per år. Slytäkt från t.ex. kraftledningsgator och vägkanter skulle kunna bidra med ytterligare ca 5-10 TWh (Ebenhard *et al.*, 2017).

För att kunna realisera potentialer för kraftigt ökade uttag av skogsbränslen utan att få allvarliga konsekvenser på andra miljökvalitetsmål så krävs att ett antal faktorer uppfylls, såsom askåterföring, näringskompensation, bra generell hänsyn, att det huvudsakligen är barrgrot som tas ut, att körskador förhindras mm. (Energimyndigheten, 2012; J. de Jong *et al.*, 2017).

De resulterande "ekologisk-teknisk-ekonomiska" potentialerna ovan har implementerats i BeWhere och använts som scenarier i modellanalysen med BeWhere i denna studie, med reducering i miljöscenariot för att ta hänsyn till slutsatserna från de Jong et al. Kostnaden för olika sortiment har modellerats men en bottom-up-baserad metod vilken reflekterar skillnader i skörde- och efterbehandlingskostnader för stubbar och grot.

Vid modellutvecklingen av TIMES-Sweden har modellen förberetts för körningar med dessa scenarier. Modellanalysen med TIMES-Sweden inom detta projekt utfördes emellertid med en förenklad modelluppdatering av biomassan, där biomassan mer konsekvent uppdelades i användningsområde (fjärrvärme små/stora anläggningar, biodrivmedelsproduktion, olika typer av industri användning etc.) och med potentialer enligt (Börjesson, 2016). Därefter har representationen av biomassa helt gjorts om, och utgår nu från trädet (se avsnitt 4.1.2). Detta innebär att TIMES-Sweden i framtiden kommer applicera motsvarande antaganden som BeWhere.

3.2.2 Import och export av biomassa

Trots stora biomassatillgångar är Sverige idag nettoimportör av skogsråvara (främst massaved men även en inte obetydlig mängd sågtimmer samt sågverksflis, totalt drygt 6 miljoner m³ i nettoimport under 2015) (SDC, 2016). Import sker främst från Baltikum, Finland och Norge.

I framtida scenarier, då den globala efterfrågan på bioprodukter kan antas öka i och med Parisavtalet, antas Sverige snarare vara en framtida nettoexportör av biomassa. Ett troligt framtida scenario är att Sverige exporterar vissa biodrivmedel medan importerar andra. För att trovärdigt fånga denna utväxling skulle dock krävas att modellerna inkluderar fler länder än Sverige. Vi har därför valt att inte studera denna effekt, och istället satt olika begränsningar på importen i modellerna.

I BeWhere Sweden har importen av rundved för industriell användning begränsats till dagens importnivåer för det valda scenarioåret (2030). Även pellets tillåts importeras, men inga andra energisortiment. Även i TIMES-Sweden har import av

biobränslen begränsats till dagens nivåer. I nuvarande version antas biodrivmedel inte få importeras efter år 2025 (detta har emellertid varierats under de analyser som presenteras i denna studie). Argumentet är att det under Parisavtalet är orimligt att anta att ett land rikt på biomassa och andra förnyelsebara energiresurser ska vara nettoimportör av biomassa. En än mer korrekt representativ av handel med biobränslen är att anta både import och export av biodrivmedel, och att definiera en restriktion om ingen nettoimport (export-import >0) av biomassa.

3.2.3 Skogsindustrins utveckling

Skogsindustrin svarar för 9-12% av svensk industris sysselsättning, export, omsättning och förädlingsvärde. Till skogsindustrin räknas de företag som använder råvara från skogen för sin produktion, vilket inkluderar produktion av massa, papper (inklusive kartong och förpackningar), sågat timmer, prefabricerade byggkomponenter av trä, samt biobränsle. Svensk sågverksindustriproduktion följer en generellt uppåtgående trend, som efter ett par år av minskning i spåren av den finansiella krisen 2008, nu åter är på väg uppåt. Pappersproduktionen i Sverige har under senare år följt en svagt nedåtgående trend, efter att ha ökat stadigt under de föregående decennierna. I synnerhet är det produktionen av tryckpapper som minskat, vilket också följer den globala trenden. (Skogsindustrierna, 2016)

Samtidigt kan en potentiell omställning mot bioekonomi komma att utgöra en stark strukturell kraft som talar för skogsindustrin i allmänhet (Skånberg, Olsson and Hallding, 2016). I branschorganisationen Skogsindustriernas analys kommenteras att världsproduktionen av förpackningar har förutsättningar att inte bara följa tidigare trend och växa i takt med global BNP, utan under kommande decennier även till och med överträffa BNP-tillväxten (Kinnwall, Heinsoo and Niklasson, 2016). Bedömningen görs att ökningarna fram till 2030 i intervallet 20-100% globalt sett jämfört med dagens nivå kan antas. Givet att svensk förpackningsproduktion växer i samma takt som den globala produktionen skulle det innebära att produktionen kan öka från 6,1 miljoner ton år 2015 till mellan 7,3 och 12,2 miljoner ton år 2030 (Kinnwall, Heinsoo and Niklasson, 2016).

Antaganden om skogsindustriella produktionsnivåer påverkar såväl integrationsmöjligheter för nya biodrivmedelsanläggningar, som efterfrågan på skogsbiomassa. I modellanalysen i denna studie har för analysen med BeWhere dagens skogsindustriella produktionsnivåer antagits.

3.3 BIODRIVMEDEL

Sverige har sett en snabb utveckling av användningen av biobränslen för transporter, med en ökning från en andel av 5,1% 2011 till nästan 15%¹¹ år 2015 (Energimyndigheten, 2016), vilket totalt motsvarar ca 13 TWh biodrivmedel. Detta placerar Sverige i täten inom EU vad gäller användning av biodrivmedel. Denna ökning har till stor del drivits av ökad inblandning av HVO (Hydrogenerade

¹¹ Om dubbelräkning enligt Förnybarhetsdirektivet (Renewable Energy Directive) tillämpas för avancerade drivmedel motsvarar andelen biodrivmedel i transportsektorn under 2015 ca 23%.

Vegetabiliska Oljor)¹² som idag står för omkring hälften av den totala biodrivmedelsanvändningen. Största delen av de biobränslen som används idag är importerade, men Sverige har också en etablerad biodrivmedelsindustri (HVO från råttalolja, spannmåls- och till viss del cellulosebaserad etanol, biodiesel/RME, samt biogas), samt ett mångårigt och omfattande forsknings- och utvecklingsprogram avseende ny produktionsteknik för biodrivmedel. I denna studie är fokus på tekniker som är anpassade för svenska förhållanden och förutsättningar, samt med nuvarande eller tidigare FoU-verksamhet i Sverige.

Representationen av biodrivmedel i de båda energisystemmodellerna skiljer sig åt. I TIMES-Sweden inkluderas såväl existerande biodrivmedelsproduktion (etanol från spannmål, biogas samt biodiesel/RME, se kapitel 4.1.3) som framtida avancerade biodrivmedel baserat på lignocellulosaråvaror eller avfall. BeWhere har fokus enbart på avancerade drivmedel, främst baserat på skogsbiomassa. Teknikrepresentationen har tidigare dels skilt sig mellan modellerna, dels utvecklats över tid för respektive modell.

Inom ramen för denna studie samt parallella pågående projekt¹³ har båda modellerna genomgått omfattande utveckling för att harmonisera teknikutbud och indata. I detta avsnitt ges en gemensam beskrivning av det uppdaterade teknikutbudet för avancerade biodrivmedel, med detaljer för respektive modell i kapitel 3.5.

3.3.1 Inkluderade teknikkoncept för avancerade biodrivmedel

Fyra olika framtida produktionskoncept för skogsbiomassabaserade drivmedel har inkluderats i denna studie. Nya anläggningar har antagits att antingen kunna lokaliseras integrerat med existerande industrier eller energianläggningar, eller fristående. Tabell 10 sammanfattar de beaktade teknikerna och integrationsmöjligheterna (se vidare avsnitt 3.3.2).

¹² Produceras från olika råvaror, främst vegetabiliska eller animaliska avfallsoljor samt slakteriavfall (beteckningen HVO används vanligtvis även för produkter av animaliskt ursprung, även om en mer korrekt term är HEFA, Hydroprocessed Esters and Fatty Acids). Råttalolja, som var den vanligaste råvaran vid introduktionen av HVO i Sverige, står idag för ca 14% av all HVO som används i Sverige.

¹³ För TIMES främst Energimyndighetsprojekten "TIMES-Sweden competency framework" och "Increased national target for renewable energy – Biomass in the future Swedish energy system", för BeWhere främst det f3-finansierade projektet "BeWhere - Aktörsinriktad analys av biodrivmedelsproduktion i Sverige (BeWhere 3)".

Tabell 10. Översikt över beaktade teknikkoncept för biodrivmedelsproduktion och integrationsmöjligheter.

Beskrivning	Förkortning	Data baserat på
Produktionskoncept för biodrivmedel		
Metanol via förgasning av fast biomassa	BMG-MeOH	(Holmgren <i>et al.</i> , 2016)
Syntetisk naturgas (SNG) via förgasning av fast biomassa	BMG-SNG	(Holmgren <i>et al.</i> , 2016)
Metanol via svartlutsförgasning	BLG-MeOH	(Andersson <i>et al.</i> , 2016)
Etanol + biogas via SSF (samtidig försockring och jäsning) och rötning	EtOH-biogas	(Joelsson, Wallberg and Börjesson, 2015; Börjesson <i>et al.</i> , 2016),
Potentiella anläggningslokaliseringar (värdar)		
Kemiska massabruk (sulfatmassa)	chem	(Wiberg and Forslund, 2012; SFIF, 2016)
Mekaniska massabruk, pappersbruk	mech	(SFIF, 2016)
Sågverk	saw	(Danielsson, 2003; SFIF, 2015)
Fjärrvärmesystem	DH	(Energiföretagen, 2017)
Fristående (stand-alone) ^a	SA	N/A

^a Ett urval av skogsterminaler används som lokaliseringmöjlighet för de fristående anläggningar, för att säkerställa transportmöjligheter. Inga integreringsfördelar beaktas dock, varför dessa räknas som fristående.

Förgasningskoncepten från fastbiomassa har baserats på processer beskrivna av Holmgren *et al.* (2016). För metanolkonceptet (BMG-MeOH) används en CFB-förgasare (cirkulerande fluidiserad bädd) medan SNG-konceptet (BMG-SNG) baseras på indirekt dubbel fluidbäddsförgasning. Båda koncepten har betydande överskott av processvärme vid hög temperatur, vilket kan återvinnas med en avgaspanna (HRSG, heat recovery steam generator) kopplad till en mottrycksturbin för samtidig produktion av el och ånga/processvärme för såväl interna behov i anläggningen, som för värmebehov hos värdanläggningen där biodrivmedelsproduktionen är integrerad.

Svartlutsförgasningskonceptet (BLG-MeOH) baseras på suspensionsförgasning (entrained flow) vid hög temperatur. Processen har utvecklats som en alternativteknik till sodapannan för kemikalier- och energiåtervinning vid kemiska massabruk och finns beskriven i ett antal tidigare studier. Här har data från Andersson *et al.* (2016) använts. Processen har ett betydande överskott av värme som kan användas i brukets processer (se vidare nedan).

För cellulosebaserad etanol finns ett antal koncept framtagna för effektiv storskalig produktion, vanligtvis innefattande samproduktion av flera energiprodukter för att öka processens totalverkningsgrad (se t.ex. Börjesson *et al.* 2013; Ekman *et al.* 2013). I den här studien har en process baserad på förbehandling med ånga, följt av samtidig försockring och jäsning (SSF, simultaneous saccharification and fermentation) från Joelsson *et al.* (2015) beaktats. Från processen fås en fast rest bestående till största delen av lignin, som förbränns för ång- och elproduktion, samt en vätskefas (drank) som rötas till biogas som här har antagits uppgraderas till fordonsgaskvalitet.

Ny produktion av skogsbaserad HVO beaktas ej eftersom den tillgängliga råvaran (råtallolja) från svensk skogsindustri redan idag är i princip fullutnyttjad.

3.3.2 Integrationsmöjligheter

Integrationsantaganden skiljer sig delvis åt mellan TIMES-Sweden och BeWhere Sweden, eftersom TIMES-Sweden aggregerar alla potentiella värddar av en viss typ, medan BeWhere beaktar varje potentiell värd individuellt. Texten i detta avsnitt täcker gemensamma integrationsantaganden, medan vidare detaljer kan hittas för respektive modell i kapitel 4.

Integration med olika värddar har beaktats på två nivåer: (1) användning av industriella biprodukter (sågverksflis, sågspån, bark) som råvara för biodrivmedelsproduktion, och (2) värmeintegration där överskottsvärme från biodrivmedelsprocessen används för att möta värmebehov i industriella processer eller fjärrvärmesystem. Med undantag för svartlutsförgasning (BLG-MeOH), vilken endast kan lokaliseras integrerat med kemiska massabruk eftersom svartluten är en intermediär i sulfatmassaprocessen, är alla teknikkoncept flexibla och har antagits kunna lokaliseras såväl med alla beaktade värdtyper för integration, som fristående.

Vid kemiska massabruk (chem) förbränns svartluten i en sodapanna för att generera ånga och samtidigt återvinna kokkemikalierna. En mottrycksturbin används för att producera el och ånga på rätt nivåer för brukets behov. Om ångan från sodapannan inte är tillräcklig för att möta brukets ångbehov (här betecknat som ångunderskott) har bruket vanligtvis även en fastbränslepanna som eldas med fallandebarken från massaproduktionen och eventuellt ytterligare bränslen. De beaktade biodrivmedelskoncepten BMG-MeOH, BMG-SNG och EtOH-biogas har alla ett värmeöverskott som kan användas i brukets processer och anläggningarna har dimensionerats för att ersätta barkpannan i kemiska massabruk. Överskottsvärme från bruket vid lägre temperatur har antagits användas för att torka den ingående biomassan till förgasningsprocesserna.

Vid integration av svartlutsförgasning har all svartlut antagits användas för biodrivmedelstillverkning genom att sodapannan ersätts helt med förgasning. Processen genererar betydande mängder ånga men jämfört med drift med sodapanna så innebär introduktion av svartlutsförgasning ändå en signifikant minskning av ångproduktionen. Detta ångunderskott möts genom förbränning av biobränslen blandat med avblödningsgas från BLG-MeOH-anläggningen i en ångpanna kopplat till en mottrycksturbin.

Mekaniska massabruk och stora pappersbruk (mech) möter typiskt sina processvärmebehov med en fastbränslepanna kopplat till en mottrycksturbin. På samma sätt som i kemmassabruken har anläggningar dimensionerats baserat på BMG-MeOH, BMG-SNG och EtOH-biogas utifrån värdindustrins värmebehov och under antagandet att existerand panna helt ersätts.

Även för sågverk (saw) har överskottsvärme från biodrivmedelsprocesserna antagits användas för att täcka sågverkens interna värmebehov (torkning av sågat virke) vilket annars typiskt täcks av en hetvattenpanna eldad med sågverkets biprodukter. Med integrerad drivmedelsproduktion har biprodukter antagits istället kunna användas som drivmedelsråvara. Detta har fått utgöra

dimensioneringsunderlag för nya anläggningar. Eventuell överskottsånga från processerna används för produktion av el.

Vid integration i fjärrvärmesystem (DH) har anläggningar baserade på BMG-MeOH, BMG-SNG och EtOH-biogas dimensionerats utifrån estimerat tillgängligt värmeunderlag för en motsvarande ny biokraftvärmeanläggning.

En ytterligare integreringsfördel vid samlokalisering av drivmedelsproduktion med existerande verksamhet är möjligheten till samutnyttjande av gemensamt råvaruhanteringssystem, vilket här har beaktats genom en reducerad investeringskostnad för detta där hanteringssystem redan finns. Andra integreringsfördelar som inte beaktats, men som kan ha en inverkan på såväl kapital- som driftskostnader är t.ex. delad arbetskraft, och byggnader- och serviceanläggningar.

3.3.3 Data för biodrivmedelskoncepten

Nedanstående indata (Tabell 11 och Tabell 12) har använts i både TIMES-Sweden och BeWhere, med vissa skillnader för hur data implementerats i modellerna (se vidare kapitel 4, för respektive modell). För referenser, se Tabell 10.

Tabell 11. Energibalanser för de beaktade biodrivmedelsteknikerna integrerat med olika potentiella värddar, baserat på en enhet bränsle in. För förklaring av förkortningar, se Tabell 10.

	Driv-medel 1	Driv-medel 2	Ånga/värme	Avbl.-gas	Elprod.	El-anv.
BMG-MeOH-chem	0,51	-	0,20	-	0,05	0,09
BMG-MeOH-mech	0,51	-	0,14	-	0,06	0,09
BMG-MeOH-saw	0,51	-	0,14	-	0,07	0,09
BMG-MeOH-DH	0,51	-	0,14	-	0,07	0,09
BMG-MeOH-SA	0,51	-	-	-	0,09	0,09
BMG-SNG-chem	0,70	-	0,14	-	0,08	0,07
BMG-SNG-mech	0,70	-	0,08	-	0,09	0,07
BMG-SNG-saw	0,70	-	0,08	-	0,09	0,07
BMG-SNG-DH	0,70	-	0,08	-	0,10	0,07
BMG-SNG-SA	0,70	-	-	-	0,11	0,07
BLG-MeOH-chem	0,54	-	0,16 ^a	0,04	-	0,11
EtOH-biogas-chem	0,42	0,14	0,17	-	0,09	
EtOH-biogas-mech	0,42	0,14	0,17	-	0,09	
EtOH-biogas-saw	0,42	0,14	0,17	-	0,10	
EtOH-biogas-DH	0,42	0,14	0,22	-	0,11	
EtOH-biogas-SA	0,42	0,14	-	-	0,13	

^a Total påverkan på lågtrycks- (LP-) och mellantrycks- (MP-)ånga (drivmedelsanläggningen har behov av MP- och överskott av LP-ånga).

Tabell 12. Modellerade investeringskostnadsfunktioner, där C är kapacitet i MW. Notera att investerings-kostnad för biodrivmedelsproduktion kompletteras med investering i olika stödsystem, se

	Investeringskostnadsfunktion		$C [MW]$
	$a \cdot C^b [MEUR_{2015}]^a$		
	a	b	
BMG-MeOH	5,4	0,7	Biomassa in
BMG-SNG	6,4	0,7	Biomassa in
SE-HF-EtOH	4,6	0,7	Biomassa in
BLG-MeOH	20,3	0,49	Svartlutsflöde
Ångpanna (biobränsle) ^a	2,3	0,7	Biomassa in
Ångcykel ^b	2,2	0,7	Producerad el
Integrerad torkning ^c	1,9	0,7	Torkkapacitet
Biomassahantering ^d	0,20	0,7	Svartlutsflöde
Biogasuppträdning ^e	0,26	1,0	Råbiogas

Inkluderad för investering i:

^a EtOH-biogas (alla integrationsmöjligheter) och BLG-MeOH.

^b Samtliga tekniker.

^c BMG-MeOH och BMG-SNG integrerat i kemmassabruk (chem).

^d Samtliga tekniker i kemmassabruk (chem), mekmassabruk (mech) och fjärrvärmesystem (DH).

^e EtOH-biogas.

3.4 TRANSPORTSEKTORN

Efterfrågan på transportarbete och vilka fordonsval som finns påverkar efterfrågan på biodrivmedel och därmed konkurrensen om biobränslen.

I TIMES-Sweden finns transportbehovet beskrivet för både vägtrafik, sjöfart, bantrafik och flyg. Väg- och bantrafik är i sin tur uppdelat i gods- respektive persontransport (i miljoner tonkilometer, Tkm, respektive miljoner personkilometer, Pkm). Vägtrafik är i sin tur uppdelat i personbilar, lätta/tunga lastbilar, bussar och motorcyklar. För varje typ av efterfrågan ger optimeringen resulterande val av fordon (vilka fordon som används), bränsle och eventuella investeringar i nya fordon. Årlig efterfrågan av biodrivmedel är därmed ett resultat från TIMES-Sweden. I modellen finns låginblandning av etanol i bensin, samt biodiesel i diesel. Denna antas vara 10% år 2020 och 20% år 2050. Mot bakgrund av den snabba utvecklingen för biodiesel de senaste åren, samt den nyligen föreslagna kvotplikten (Bränslebytet) som ska öka inblandningen av biodrivmedel, får dessa antaganden ses som försiktiga.

I BeWhere Sweden modelleras inte transportsektorn explicit, utan behandlas genom olika exogent givna scenarier. Exempelvis kan efterfrågan på biodrivmedel definieras som en viss kvot av den totala användningen av fordonsbränslen (i vägtransporten), vilken i sin tur definieras utifrån scenarier som innefattar t.ex. elektrifiering, minskat/ökat totalt transportbehov och effektivisering (se Wetterlund, Pettersson, Lundmark, et al. 2013). Andelen biodrivmedel i transportmixen kan i modellen anges på nationell, regional eller lokal nivå. I denna studie har fokus för modellanalysen med BeWhere varit på produktion av biodrivmedel snarare än användning (se avsnitt 5.2).

3.4.1 Transportbehov

Det råder stora osäkerheter kring utvecklingen av transportarbete, både vad gäller persontrafik och godstrafik. Vi har i denna studie använt olika transportefterfrågan i olika studier.

I den nuvarande versionen av TIMES-Sweden finns samma antaganden som i körningarna till Miljömålsberedningen (SOU 2016:47, Statens offentliga utredningar 2016a). Persontransporter antas öka med 10% mellan 2010 och 2030, och med 20% mellan 2010 och 2050. Godstransporter antas öka med 30% mellan 2010 och 2030, och med 50% mellan 2010 och 2050¹⁴. I tillägg finns ett scenario med en lägre transportefterfrågan, i detta antas efterfrågan vara konstant från år 2020. Att efterfrågan inte skulle öka efter år 2020 är givetvis inte realistiskt, snarare skulle ett scenario med minskad biltrafik t.ex. kunna leda till en ökad andel bussar. Syftet med detta scenario är framförallt att använda som kompletterande analys för att identifiera den övergripande effekten av en betydligt lägre efterfrågan på vägtransporter.

3.4.2 Teknikutveckling av fordonsparken

Det finns i modellen ett antagande om att transport blir mer effektiva, både genom teknikeffektivisering och genom högre beläggningsgrader (dvs. fler personer eller mer gods i varje fordon). Personbilar förväntas ha en snabbare teknikutveckling än tunga godsfordon, då det idag finns befintliga EU styrmedel som styr mot en mer effektiv fordonspark för personbilar, vilket saknas för lastbilar.

I modellen är det generellt viktigare att kostnader relativt varandra är korrekt än att specifika kostnader stämmer med "verkligheten" (kostanden när i butiken). För år 2025/2030 antas i modellen att en etanolbil kostar 5 % mer jämfört med en bensinbil, ett fordon anpassat för DME antas kosta 3% mer jämfört med motsvarande bil med diesel, och en elbil antas vara 20 % dyrare jämfört med en bensinbil.

3.5 POLICY

Båda modellerna använder i referensscenarierna nuvarande styrmedel, dvs. nuvarande nivåer på skatter, subventioner, elcertifikatsystem och EU-ETS. I tillägg så påverkas flera andra antaganden indirekt beroende på vilken klimatpolitik som antas gälla på global respektive EU-nivå.

3.5.1 Svenska styrmedel

I TIMES-Sweden anges skatter och subventionsnivåer exogent till modellen. Elcertifikatsystemet modelleras endogent utifrån den fördefinierade utvecklingen av kvotplikten enligt Energimyndigheten (2015). Dagens skattesatser antas kvarstå under hela den modellerade tidsperioden, med undantag för biodrivmedel som idag är skattebefriade, men som i modellen antas omfattas av full energiskatt från 2020, men ingen CO₂-skatt (anledningen är att även biodrivmedel har

¹⁴ Detta skiljer sig något från Trafikverkets senaste "basprognos" där persontransporterna totalt sett antas öka med 32% mellan 2014 och 2040, samt godstransporter antas öka med 73%

luftföroreningar). El för privata transporter antas i modellen beskattas på samma sätt som hushållsel.

I BeWhere anges bränsleskatter som en del av de totala energipriserna (fossila drivmedel, el). Liksom i TIMES-Sweden har för modellanalysen i denna studie dagens nivåer på skatter och elcertifikat antagits.

3.5.2 Klimatpolitik

Vilken klimatpolitik som sker på global, europeisk och nationell nivå påverkar olika antaganden i modellerna. Den globala klimatpolitiken påverkar framförallt takten i teknikutveckling för tekniker där Sverige inte är drivande¹⁵, t.ex. solceller, batterier och fordon. Den europeiska klimatpolitiken påverkar framförallt prisnivån i EU:s system för handel med utsläppsrätter (EU-ETS). På nationell nivå är det relevant att inkludera existerande övergripande klimatmål för 2045 (se SOU 2016:21, Statens offentliga utredningar 2016b), och att analysera föreslagna delmål (se SOU 2016:47, Statens offentliga utredningar 2016a).

Den **globala klimatpolitiken** antas vara den samma i alla scenarier där världen antas följa Parisavtalet och ett 1,5-gradersmål. Detta innebär att utvecklingen av tekniker som bidrar till att reducera CO₂-utsläppen antas drivas på global nivå.

För **Europa** antas tre olika ambitionsnivåer för EU-ETS (samma som användes för modellkörningarna åt Miljömålsberedningen). En diskussion kring kombinationen av EU-ETS-prisnivå och nationella klimatmål sker vid val av slutliga scenariokombinationer. Följande tre prisscenarier för EU-ETS, med prisutveckling enligt Tabell 13, beaktas i analysen med TIMES-Sweden:

- **REF-låg nivå:** Ett scenario där priset på utsläppsrätter inte antas öka efter år 2025. Detta scenario är förhoppningsvis inte är troligt, men är bra som avstamp för att se hur mycket av den resulterande förändringen som sker till följd av EU-ETS priserna.
- **REF:** Ett scenario i enlighet med referensscenario från PRIMES-modellen körningar under hösten 2015 (PRIMES, 2015); ett scenario med dagens klimatambition.
- **KLIMAT:** Ett scenario i enlighet med klimatscenariot enligt rapporten "Trends to 2050 – reference scenario 2013" (European Commission, 2013).

¹⁵ Sverige kan antas vara drivande i teknikutvecklingen vad gäller produktion av biodrivmedel, dvs. antaganden kring biodrivmedelsproduktion bör samstämma med utbyggnaden av biodrivmedelsproduktion. Utifrån detta resonemang så borde teknikutvecklingen för bioproduktion (hur verkningsgrad och kostnader förändras över tid) vara endogent beskriven i modellerna. Detta är dock inte fallet. Vi har ibland istället hanterat denna genom iterativt förfarande, dvs startar med en högre kostnad, och om biodrivmedel kommit in anpassa kostanden och gjort om körningen. Alternativt startat med en tro om teknikutveckling, och om tekniken kommit in även belysa att om detta ska ske så måste en initial teknikutvecklingskostnad in.

Tabell 13. Antagna EU-ETS-priser (EUR₂₀₀₅/ton) i modellkörningar med TIMES-Sweden.

	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
(REF-låg nivå)	5,3	8,6	17,3	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0
REF (referens)	5,3	8,6	17,3	23,0	30,5	42,1	70,9	96,8	100
KLIM (klimatmål)	5,3	8,6	17,3	23,0	34,9	72,8	145	246	265

För BeWhere-analysen i den här studien är fokus helt på biomassa och inga konverteringsmöjligheter från fossila bränslen inom den handlande sektorn beaktas explicit i modellen så som den körs i denna studie. Därför inkluderas inte kostnader relaterade till EU-ETS i de redovisade studierna med BeWhere. Modellen har dock möjlighet att ta hänsyn till såväl direkta CO₂-utsläpp som indirekta, och kan internalisera kostnader för CO₂-utsläpp från hela värdekedjan i målfunktionen.

4 Modellutveckling

Modellerna har inom ramen för detta projekt och angränsande projekt utvecklats för att bättre kunna analysera konkurrensen om biomassa och för att lättare kunna kommunicera mellan modellerna. Det senare handlar framförallt om att få gemensam sektors- och varuuppdelning, samt harmoniserade antaganden och indata för de tekniker (främst för biodrivmedelsproduktion) och resurser (skogsbiomassa) som täcks av båda modellerna.

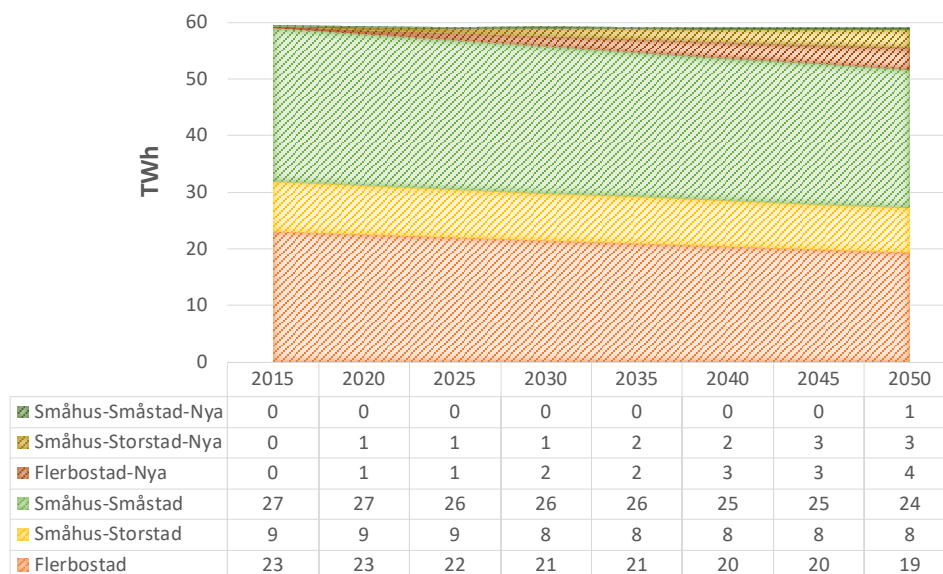
4.1 MODELLUTVECKLING TIMES-SWEDEN

Övergripande syfte: Förbättra modellens förutsättningar att analysera eventuella målkonflikter mellan ökad elproduktion från fjärrvärme och ökad produktion av avancerade biodrivmedel från skogsråvara, samt att möjliggöra länkning till BeWhere Sweden. Detta har gjorts genom uppdatering och synkning av relevanta delar av teknikdatabasen, samt förbättrad representation av skogsbaserad biomassa i TIMES-Sweden, både vad gäller olika typer råvaror och dess integration med industrin (som både är användare och leverantör av biomassa). I tillägg så har efterfrågesektorn av fjärrvärme anpassats för att bättre beakta fjärrvärmens förutsättningar.

4.1.1 Uppvärmning av bostäder och lokaler

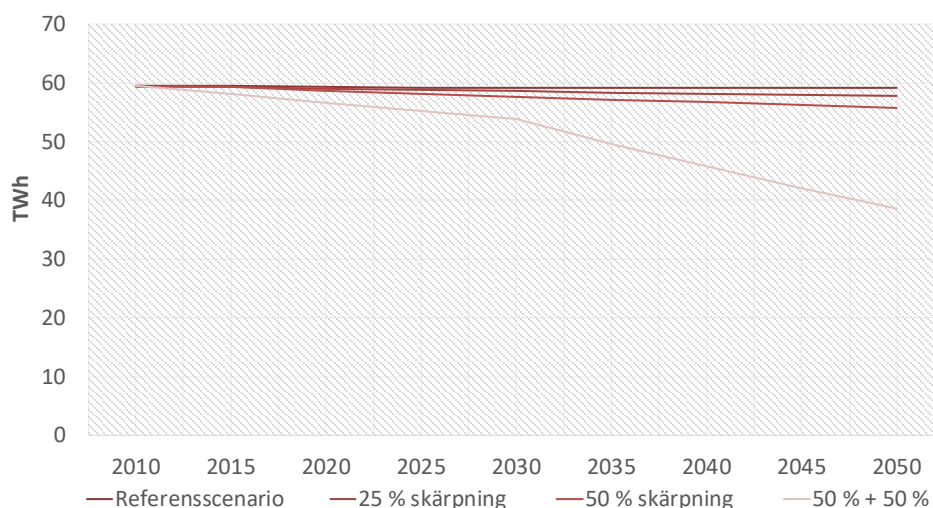
Syfte 1: Förbättra antagande om hur efterfrågan av uppvärmning och varmvatten utvecklas över tid.

För att kunna göra en bra analys för framtiden, så behövs bra dataunderlag. Inom ramen för detta projekt, och i samarbete med Boverket, upprättades olika scenarier för hur efterfrågan i bostäder kan komma att utvecklas över tid med avseende på varierande BBR-krav (Boverkets byggregler), samt i vilken grad existerande hus omfattas av effektiviseringskraven. Antagandena beräknades med avseende på energianvändning i dagens byggnader, antaganden om rivning av existerande bostäder och nybyggnation av respektive fastighetstyp. Det senare bestämdes av antagande kring befolkningsutveckling och demografi (mellan stor/småstad och antal personer per hushåll), val av bostad (småhus/flerbostadshus) och bostadsstorlek. Beräknade antaganden i referensscenariot finns presenterade i Figur 7.



Figur 7. I TIMES-Sweden beräknad energianvändning för uppvärmning och varmvatten i småhus och flerbostadshus under perioden 2015–2050.

Utöver referensscenariot med antaganden enligt BBR22, så beräknades tre effektiviseringsscenarioer; två scenarier för skärpta BBR-krav (med 25% respektive 50% skärpning av BBR21) och ett annat med krav även på existerande bostäder (50% + 50%). Skillnaden mellan de framtagna scenarierna finns presenterad som aggregerat behov för alla bostäder i Figur 8. Mer information kring själva studien och dess resultat finns beskriven i Boverket (2015).



Figur 8. Fyra olika framtagande scenarier för framtida energianvändning av uppvärmning och varmvatten i småhus och flerbostadshus under perioden 2015–2050, presenterat på aggregerad nivå.

Syfte 2: Förbättra representationen av fjärrvärmeanläggningen hos slutkund.

Fjärrvärme, liksom många andra 'uppvärmningstekniker' (t.ex. bergvärmepump), kännetecknas av en hög initial investeringskostnad och därefter relativt låga årskostnader. Till skillnad från många andra 'uppvärmningstekniker' har fjärrvärmebaserade värmesystem låga ersättningskostnader (endast värmeväxlaren behöver bytas ut) jämfört med den initiala investeringskostnaden (som till stor del omfattar nätanslutningen). De flesta nationella, europeiska och globala modeller tar dock inte hänsyn till detta. Många gånger antas antingen existerande värmeväxlare – när den tekniska livstiden är slut – ersättas med ett paket bestående av både nätanslutning och värmeväxlare (dvs. kostnader överskattas), eller så antas existerande värmeväxlare finnas kvar under hela modellperioden (dvs. kostnaden underskattas).

TIMES-Sweden har därför uppdaterats så att nätanslutning definieras som en annan "teknik" än värmeväxlare. När värmeväxlaren når sin tekniska livslängd byts således endast den ut.

4.1.2 Biomassa

Med biomassa menar vi i detta kapitel menar vi "fast biomassa" med ursprungligt ursprung från skogen.

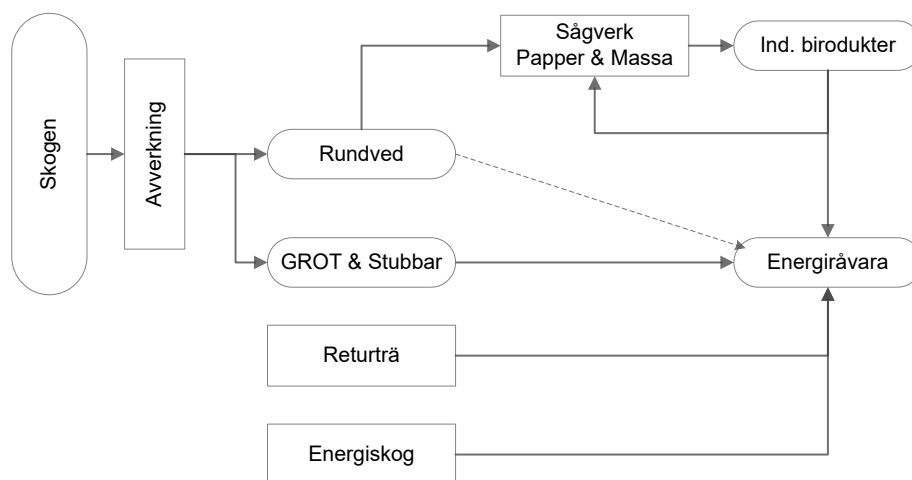
Biomassa 1: Varifrån kommer biomassan? Syfte: Utgå från trädet - fånga kopplingen mellan olika biomassafragment vid avverkning och annan aktivitet.

Biomassaflödena i TIMES-Sweden har uppdaterats för att bättre representera förhållandena mellan uttag och användande av sågtimmer i relation till restprodukter från avverkning, och restprodukter från industrin (Figur 9).

Det första steget i modellen är representationen av avverkningen. Avverkningsmodulen i modellen genererar skoglig biomassa och blir därmed också en modellering av skogen. För att få en bra representation har skogen modellerats som en enhet bestående av tre fraktioner. Fraktionerna är rundved, grot och stubbar och antas motsvara ett genomsnittligt träd. Den primära resursen från avverkningen är rundved medan grot och stubbar modelleras som restflöden. Uttag av biomassafraktioner är således bundna till rundvedsuttaget och gör att ingen av fraktionerna kan tas ut separat. Uttagspotentialerna av rundved, grot och stubbar följer officiella scenarioantaganden för skogliga uttagspotentialer, i enighet med scenarierna presenterade enligt SKA 15 (Swedish Forest Agency, 2015). Uppdelningen av skogen i sammanhängande fraktioner har även gjorts för att möjliggöra implementering av miljörelaterade restriktioner på specifika uttagsgrupper (t.ex. grot) i enighet med exempelvis de Jong et al. (2017) samt för att kunna applicera en kostnadsstruktur på olika uttag av biomassafraktioner i enighet med Lundmark et al. (2015).

Avverkningen är den primära källan av biomassa i modellen, sen tillkommer även sekundära flöden samt uttag av returträ och energiskog. De sekundära flödena består främst av de industriella biprodukterna sågspån, flis och bark. Tillgången på dessa styrs av industriernas aktivitet och utnyttjande av rundved. Uttag av returträ och energiskog har ingen direkt koppling till avverkningen av skog och modelleras

som separata uttagspunkter. Returträ består av exempelvis rivningsvirke och annat återvunnet trä som redan använts för andra ändamål. Uttagspotentialerna för returträ baseras på Energimyndighetens Långtidsprognos 2014. Energiskog konkurrerar främst med jordbruket om markanvändning och är inte en naturlig del av det konventionella skogsbruket. Uttagspotentialerna för energiskog baseras enligt uppskattningar från Börjesson (2016).



Figur 9. Övergripande struktur för uttag av olika sortiment av biomassa i TIMES-Sweden.

Biomassa 2: Biomassa: Hur används den? Syfte: Fånga att all biomassa inte kan användas överallt.

Potentiellt kan all biomassa användas som energiråvara, men rundved används primärt som råvara inom sågverksindustrin samt pappers- och massaindustrin. I modellen är rundveden inte knuten till dessa två industrisektorer utan kan även användas som energiråvara. Även energiråvaran är indelad i olika sortiment och det är restriktioner hos slutanvändarna som motiverar indelningen i modellen. Dessa utgörs utav kravbilden på bränslet för bioeldade värmepannor av olika storlekar och ändamål samt krav på inputmaterial till pelletstillverkning och biobränsleproduktion. Här finns restriktioner avseende kvalitet, storlek och andra egenskapsmått såsom fukthalt och värmevärde som alla ter sig olika för olika typer av biomassa.

Biomassa i form av energiråvara har delats in i fyra olika kategorier: grot (grot och stubbar), ren träråvara (flisad rundved, energiskog), returträ och ved. Utöver dessa fyra tillkommer även de industriella biprodukterna som oftast behandlas separat men där möjligheten finns att använda sågspån och flis som rena träbränslen och bark inom ramarna för kategorin grot. Flis från sågverk används i stor utsträckning som råvara för massaproduktion medan sågspånen till stor del utnyttjas som råvara för pelletstillverkning. Bark används främst i fastbränslepannor för värmegenerering inom industrierna. En detaljerad översikt över vart de olika sortimenten av energiråvara används kan ses i Tabell 8.

Ren energiråvara går inte att använda överallt. Stora delar av industrin och hela transportsektorn kräver gasformiga eller flytande biobränslen; mindre pannor för hemmabruk samt större pannor som konverterats från kolförbränning kräver oftast pellets. TIMES-Sweden har därför uppdaterats med produktion flera typer av biobränslen (se avsnitt 4.1.3) med input av råvara enligt Tabell 8. Inputråvara för pelletsproduktion har uppdaterats till att enbart acceptera sågspån, flis eller rena träbränslen.

4.1.3 Biodrivmedelsproduktion

Syfte: Fånga olika typer av biodrivmedelsproduktion, med avseende av både producerat bränsle och processintegration.

Möjligheterna för biodrivmedelsproduktion har uppdaterats och utökats för att inkludera produktion av metanol, DME, Bio-SNG samt etanol i enighet med den existerande representationen av biobränslen i BeWhere Sweden. Förutom typ av biobränslen har även framställningstekniker uppdaterats med avseende på var framställningsteknikerna används. Samtliga produktionsalternativ visas i Tabell 14. Modellen inkluderar biobränsleframställning som en integrerad del av pappers- och massaindustrin, sågverksindustrin samt fjärrvärmeproduktionen utöver möjligheten att installera fristående anläggningar. För att få till en bra representation av processintegrationen av dessa anläggningar modelleras anläggningarna med en input av biomassa, processvärme (oftast i form av ånga) samt el; output är biobränsle och genererad ånga. Processdata har baserats på data i Tabell 11, utifrån referenserna i Tabell 10.

Även biodrivmedelsproduktion som ej är integrerad med industrin har inkluderats i TIMES-Sweden (produktion av RME/FAME och etanol från olika grödor), dock med en mindre detaljerad beskrivning jämfört med den industriellt integrerade biodrivmedelsproduktionen. HVO är i dagsläget inte representerat inom modellen, då relevant data för denna teknik har varit svårt att identifiera. Data för fristående produktion har identifierats, men den HVO-produktion som sker idag sker framförallt i befintliga raffinaderier.

Tabell 14. Lista över produktionsmetoder i modellen

Teknik	Biodrivmedel	Processintegration
Svartlutsförgasning	Metanol	Papper & Massa
Svartlutsförgasning	DME	Papper & Massa
Biomassaförgasning	Metanol	Papper & Massa
Biomassaförgasning	DME	Papper & Massa
Biomassaförgasning	Bio-SNG	Papper & Massa
Fermentering	Etanol	Papper & Massa
Biomassaförgasning	Metanol	Sågverk
Biomassaförgasning	DME	Sågverk
Biomassaförgasning	Bio-SNG	Sågverk
Fermentering	Etanol	Sågverk

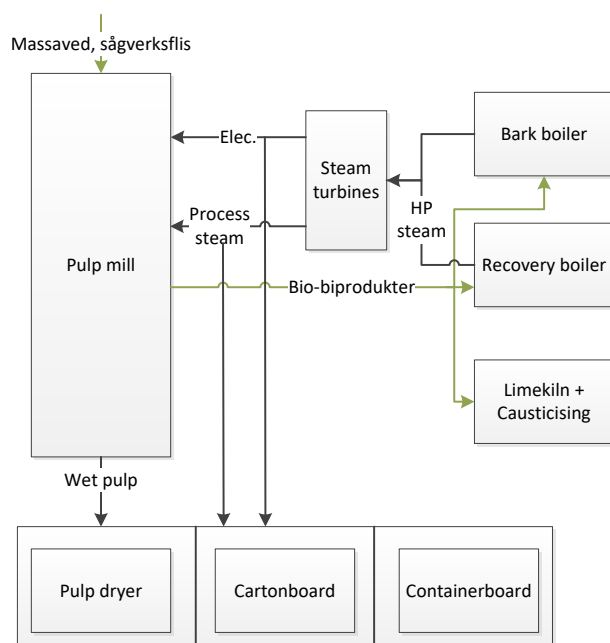
4.1.4 Industri – Papper och massaindustrin

Syfte: Förbättra biomassaflödena inom pappers- och massaindustrin.

Pappers och massaindustrin är en stor användare av biomassa och påverkar således biomassaflödena i modellen substantiellt. Representationen i TIMES-Sweden har uppdaterats med nya slutprodukter (Tabell 15), mellanprodukter, uppdaterad processrepresentation, energiflöden samt materialflöden. De övergripande målen med uppdateringen är flera; bättre representation av biomassaflöden; en struktur som möjliggör representativ modellering av integrerad biobränsleproduktion; en överlag bättre representation av de produkter som produceras; material samt energibehov för dessa processer.

Pappers- och massaindustrin har delats upp i fyra olika sektioner; kemiska pappers- och massabruk, mekaniska integrerade pappers- och massabruk, integrerade sulfittmassabruk samt fristående pappersbruk. Dessa har i sin tur delats upp i och modellerats i olika konstellationer av processkedjor inkluderande processer som producerar massa, processer som producerar papper, ångproducerande processer, turbiner, biomassahanterande processer samt i fallet för kemiska massabruk även kemikalieåtervinnande processer. En förenklad översikt av de modellerade processerna för ett kemiskt massabruk och dess korresponderande energi- och materialflöden visas i Figur 10.

För samtliga sektioner av pappers- och massaindustrin, undantaget fristående pappersbruk, har biomassahanteringen uppdaterats att ge ett utbyte av råvara för massatillverkning samt biprodukten bark från den tillförda rundveden. Samtidigt inkluderar processen möjligheten att använda flis från sågverk som råvara. För kemiska bruk har den uppdaterade processbeskrivningen förbättrat representationen för andel biomassaråvara som bildar massa samt svartlut i massaframställningsprocessen. De modellerade processerna har ett inkluderat behov av processvärme och el för att förbättra möjligheterna till en representativ processintegration i modellen. Processvärmen förses av ånga som först produceras i en fastbränslepanna (främst svartlutspanna för kemiska massabruk). Ångan reduceras till processvärme (processånga) via turbiner som samproducerar el med möjlighet att alternativt reduceras ångan direkt via strypventiler. Olika konstellationer av processer har olika processvärmebehov vid olika nivåer av ångtryck. Detta påverkar den potentiella mängden el som kan produceras i turbinerna. Turbinerna modelleras därför med en värme-till-el-kvot som är specificerad för varje modellerad processkedja och som uppdateras vid implementering av biodrivmedelsproduktion, då dessa förändrar kvoten med dess egna behov av processvärme.



Figur 10. Förenklat flödesschema över representationen av processer, materialflöden samt energiflöden för ett kemiskt massabruk i TIMES-Sweden.

4.1.5 Industri – Sågverk

Syfte: Fånga kopplingen mellan restprodukter från sågverket med dess aktivitet.

Sågverksindustrin är en mycket viktig del av biomassaflödet. I tidigare versioner av TIMES-Sweden har sågverk varit en del av industrisektorn "övrig industri". I syfte att bättre representera biomassaflödet i modellen har sågverk brutits ut ur denna grupp för att bilda en egen industrisektor i modellen. Den uppdaterade representationen i TIMES-Sweden fångar främst materialflödet av biomassa samt behovet av energi i form av processvärme och el. Flödet av biomassa är direkt kopplat till aktiviteten i sågverket vilken är att producera och uppfylla efterfrågan på sågad trävara (i modellen industriprodukten IWO, se Tabell 15). Vid produktionen bildas även biprodukterna bark, spån och flis, vilka har implementerats i modellen enligt siffror från Anderson & Toffolo (2013). Processvärmen förses via förbränning av restprodukter i hetvattenpannor alternativt via inköpt fjärrvärmevärme. Hetvattenpannorna modelleras som en egen process vilket tillsammans med det modellerade värmebehovet i sågverket ger en struktur som skapar bättre förutsättningar för modellen att implementera industri-integrerad framställning av biodrivmedel.

4.1.6 Uppdaterad modellstruktur – sammanfattning

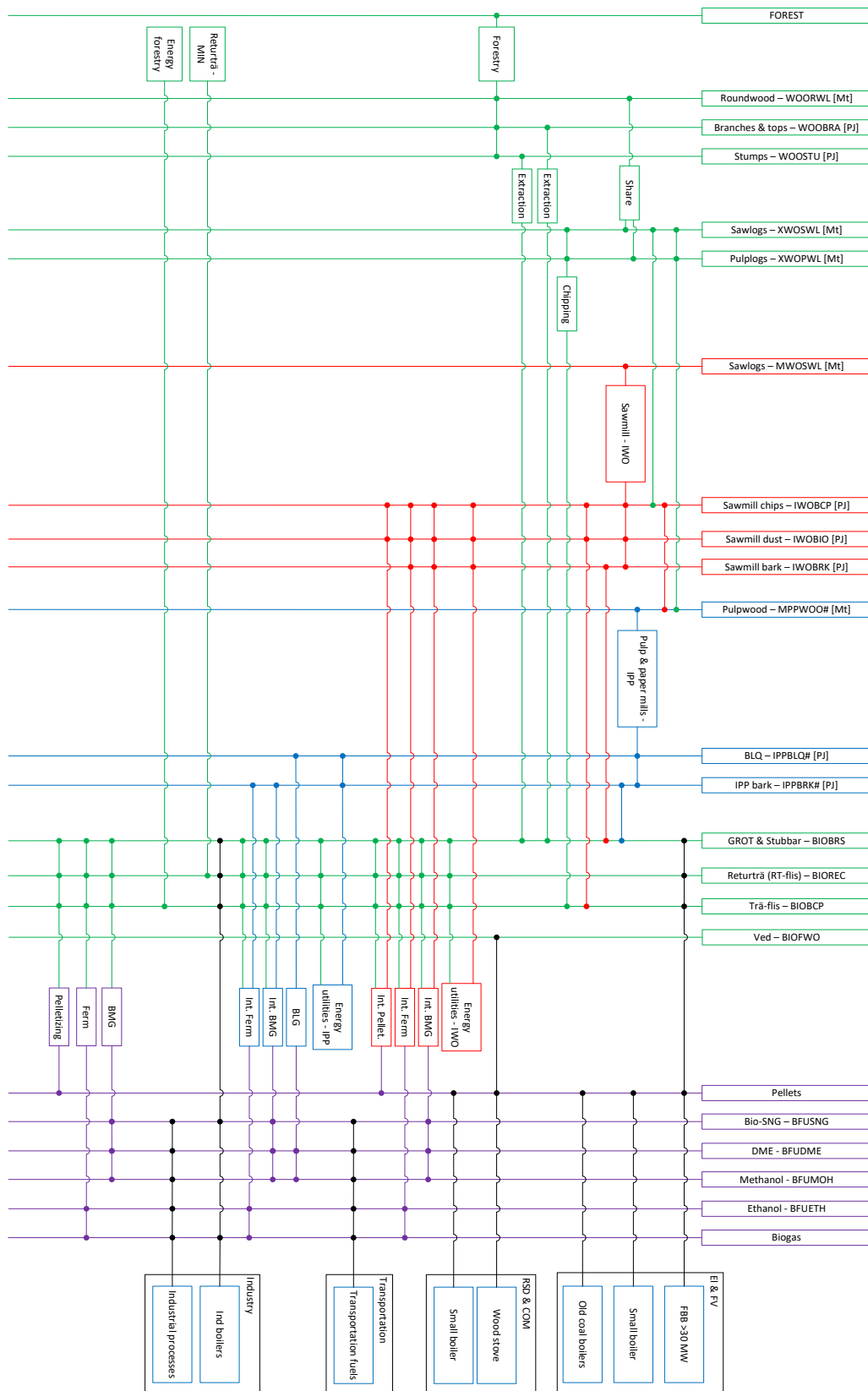
Syfte: Illustrera olika typer av biomassa från primär energi till slutanvändning med fokus på (men ej begränsat till) nyutveckling inom ramen för detta projekt.

TIMES-Sweden har uppdaterats för att förbättra hela värdekedjan för biomassa, från avverkning till slutanvändning. En detaljerad bild över den nya flödesstrukturen visas i Figur 11. Avverkningsmodulen i modellen genererar skoglig biomassa i form av rundved, grot och stubbar. Biprodukter från sågverks- och pappers- och massaindustrierna har inkluderats och genereras utifrån användningen av rundved. Dessa industrier har dessutom fått uppdaterade

strukturer som förbättrar representationen av industriintegrerad biobränsletillverkning.

Rundveden används främst som material medan samtliga fraktioner biomassa kan användas som energiråvara. Baserat på restriktioner hos slutanvändarna har energiråvaran delats in i modellen avseende olika kvaliteter. Indelningen är grovt och stubbar, träflis (rundved, energiskog), returträ, ved samt samtliga industriella biprodukter. Dessa används sedan direkt i biobränslepannor eller omvandlas till biodrivmedel (eller andra flytande eller gasformiga biobränsle) alternativt pellets.

Biodrivmedelstillverkningen har uppdaterats med nya och uppdaterade tekniker för framställning av metanol, DME, Bio-SNG och etanol. Dessa kan appliceras antingen som en integrerad del av fjärrvärmeproduktionen och ovan nämnda industrier eller som fristående anläggningar.



Figur 11. Detaljerad översikt över samtliga potentiella biomassflöden i TIMES-Sweden.

Tabell 15: Jämförelse av ny och tidigare uppdelning av industrisektorn i TIMES-Sweden

Industrisektorn Ny		Industrisektorn Gammal	
Aluminium Demand (Mton)	IAL	Aluminium Demand (Mton)	IAL
Copper Demand (Mton)	ICU	Copper Demand (Mton)	ICU
Iron and Steel Demand (Mton)	IIS	Iron and Steel Demand (Mton)	IIS
Other Non Ferrous Metals Demand (PJ)	INF	Other Non Ferrous Metals Demand (PJ)	INF
Ammonia Demand (Mton)	IAM	Ammonia Demand (Mton)	IAM
Chlorine Demand (Mton)	ICL	Chlorine Demand (Mton)	ICL
Other Chemicals Demand (PJ)	ICH	Other Chemicals Demand (PJ)	ICH
Cement Demand (Mton)	ICM	Cement Demand (Mton)	ICM
Lime Demand (Mton)	ILM	Lime Demand (Mton)	ILM
Glass Flat Demand (Mton)	IGF	Glass Flat Demand (Mton)	IGF
Glass Hollow Demand (Mton)	IGH	Glass Hollow Demand (Mton)	IGH
Kraft and sack paper (Mton)	IPKP	High Quality Paper Demand (Mton) Low Quality Paper Demand (Mton)	IPH IPL
Kraftliner/containerboard (Mton)	IPCO		
Paperboard/cartonboard (Mton)	IPCA		
Sulfite paper (Mton)	IPSU		
Fine paper (Mton)	IPFP		
Magazine paper (Mton)	IPMP		
Soft paper (Mton)	IPSP		
Other Non Metallic Minerals Demand (PJ)	INM		
Other Industries (PJ)	IOI	Other Industries (PJ)	IOI
Timber/Sawmills (Mton)	IWO		
Non Energy Consumption – Chemicals (PJ)	NEC	Non Energy Consumption – Chemicals (PJ)	NEC
Non Energy Consumption – Others (PJ)	NEO	Non Energy Consumption – Others (PJ)	NEO

4.2 MODELLUTVECKLING BEWHERE SWEDEN

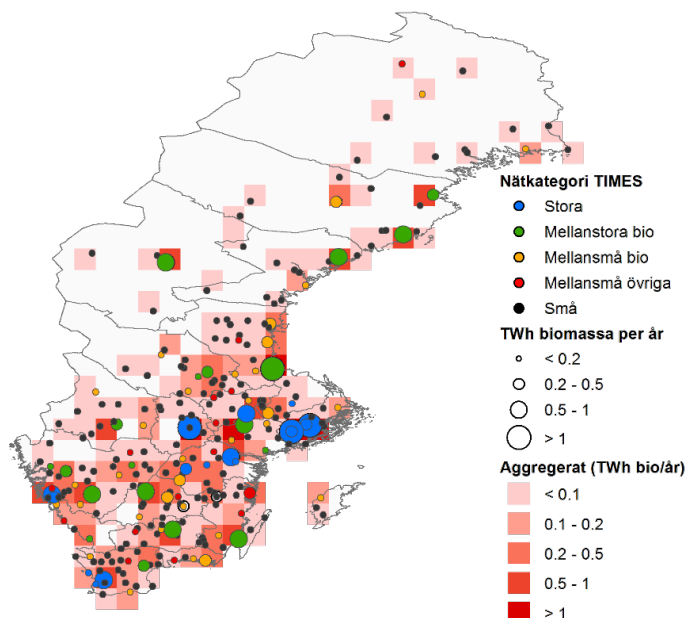
Syfte: Möjliggöra länkning till TIMES-Sweden genom uppdatering och synkning av relevanta delar av teknikdatabasen, samt förbättra representationen av fjärrvärme och biobaserad kraftvärme i BeWhere Sweden för att kunna analysera eventuella målkonflikter mellan ökad elproduktion från fjärrvärme med och ökad produktion av avancerade biodrivmedel från skogsråvara.

Modellutvecklingen av BeWhere Sweden inom ramen för detta projekt har varit mer begränsad än den för TIMES-Sweden, och främst varit fokuserad till synkning mot TIMES samt indatuppdatering, där så behövt.

4.2.1 Fjärrvärme

Som nämndes i avsnitt 3.1.2 har fjärrvärmens representation i BeWhere omstrukturerats för att matcha den i TIMES, med en kategorisering av samtliga inkluderade fjärrvärmenät som följer den i TIMES (Stora, Mellanstora, Mellansmå, Små fjärrvärmenät, se Tabell 6 och Tabell 7). Fortfarande modelleras fjärrvärmenäten endast delvis, utifrån behov av biomassa till kraftvärme-/

värmeverk. Detta skiljer sig från representationen i TIMES, där även annan värmeproduktion än biobaserad inkluderas.



Figur 12. Översikt över kategoriseringen av fjärrvärmenät enligt TIMES-Sweden, samt över den geografiska distributionen av det årliga behovet av biomassa till den stationära energisektorn, som modellerat i BeWhere Sweden.

I BeWhere är den stationära energisektorn betydligt mer statistiskt modellerad än i TIMES, och beaktas endast i form av biomassa-behov till kraftvärme- och värmeverk vilket definieras exogent. Modelleringen är geografiskt explicit, vilket innebär att hänsyn tas till var behoven är lokaliserade. Viss flexibilitet finns i vilken mix av biomassa (t.ex. grot, RT-flis, stubbar osv.) som allokeras till respektive site. Ett urval av kraftvärmeverk och fjärrvärmenät tas också explicit hänsyn till i form av potentiella värdar för integrerad biodrivmedelsproduktion, genom antingen konvertering av befintliga biopannor eller som värmesänkor för överskottsvärme från drivmedelsanläggningar.

Inom ramen för denna studie har fjärrvärmens representation i BeWhere delvis omstrukturerats för att matcha den i TIMES. Dessutom har fjärrvärmenätens roll som potentiella värdar för biodrivmedelsproduktion vidareutvecklats (se nedan).

4.2.2 Tillgångar på och användning av biomassa

Representationen av skogsbiomassa i BeWhere inkluderar sedan tidigare nio olika sortiment, varav sju primära och två sekundära (primära: sågtimmer respektive massaved från förnygringsavverkning respektive gallring, grot från förnygringsavverkning respektive gallring, stubbar från förnygringsavverkning; sekundära: sågverksflis respektive övriga skogsindustriella biprodukter). I grundmodellen har data baserat på olika scenarier från SKA 08 (SLU and Skogsstyrelsen, 2008) använts för de primära sortimenten. Detta har inom ramen för detta projekt uppdaterats till att baseras på scenarier från SKA 15 (Swedish

Forest Agency, 2015). Tre scenarier från SKA 15 har inkluderats ("Dagens skogsbruk", "Dubbla naturvårdsarealer", samt "110 procent avverkning"), med justering för teknoekonomisk potential, samt möjlighet att tillämpa ytterligare restriktioner vad gäller stubbskörd (se avsnitt 3.2.1). Även de sekundära sortimenten har genomgått viss justering, då data för sågverkens produktion uppdaterats från det tidigare basåret 2010, till 2015 (SFIF, 2015). Liksom tidigare används generella samband för att skatta produktionen av biprodukter utifrån sågverkens produktionsnivåer (Danielsson, 2003).

Utöver de tidigare inkluderade sortimenten har BeWhere kompletterats med två nya sortiment, för att bättre matcha representationen av biomassa i TIMES-Sweden: returträ (RT-flis) samt pellets. Potentiell tillgång på RT-flis uppskattas utifrån statistik över nuvarande användning (Energiföretagen, 2017), medan tillgången på pellets antas obegränsad (import tillåts). I BeWhere inkluderas i dagsläget inte pelletsproduktion explicit.

Tabell 16 och Tabell 17 sammanställer modellerade tillgångar på och användning av biomassa, efter genomförd modellutveckling.

Tabell 16. Sammanställning av biomassatillgångar i BeWhere Sweden efter genomförd modellutveckling (TWh/år).

Sortiment	Dagens skogsbruk	Dubbla naturvårdsarealer	Dagens skogsbruk, 110 procent avverkning
Sågtimmer ^a	89	79	93
Massaved ^a	69	65	72
Grot ^a	31	28	33
Stubbar ^b	16 / 6,0	14 / 4,4	17 / 10
Sågverksflis	25	25	25
Industriella biprodukter ^c	24	24	24
RT-flis	5,1	5,1	5,1
Pellets	obegränsad	obegränsad	obegränsad

^a I BeWhere är sortimenten Sågtimmer, Massaved respektive Grot ytterligare uppdelade på "gallring" respektive "föryngringsavverkning", för att ge en mer detaljerad kostnadsstruktur. Här har potentialer från gallring och föryngringsavverkning aggregerats.

^b Två olika nivåer för potentiell stubbskörd beaktas för varje övergripande SKA 15-scenari.

^c Sågspån, bark mm.

Tabell 17. Översikt över modellerad användning av biomassa, samt över vilka sortiment som kan användas för att möta vilken efterfrågan i BeWhere Sweden.

	Användn. (TWh/år)	Biomassasortiment							
		Sågtimmer	Massaved	Grot	Stubbar	Sågverksflis	Ind. biprod.	RT-flis	Pellets
Sågverk: sågtimmer	75	x							
Massabruk: fiberråvara	93	x	x			x			
Sågverk: bioenergi ^a	4.2					x	x		
Massa- och pappersbruk: bioenergi ^b	23		x	x	x	x	x	x	
Stationära energisektorn	28		x	x	x	x	x	x	x
Ny biodrivmedelsproduktion	variabel		x	x	x	x	x		

^a Pannverkningsgrad om 90% antagen.

^b Exklusive svartlut. Pannverkningsgrad om 80% antagen.

4.2.3 Biodrivmedelsproduktion

Teknikrepresentationen för produktion av skogsbaserade biodrivmedel har uppdaterats från tidigare BeWhere-studier och synkats med den uppdatering som samtidigt gjort av TIMES-Sweden (avsnitt 4.1.3). I BeWhere inkluderas nu de fyra biodrivmedelstekniker som beskrivits i avsnitt 3.3.1:

- Metanol via förgasning av fast biomassa (BLG-MeOH)
- Syntetisk naturgas (SNG) via förgasning av fast biomassa (BMG-SNG)
- Metanol via svartlutförgasning (BMG-MeOH)
- Etanol + biogas via SSF (samtidig försöckring och jäsning) och rötning (EtOH-biogas)

Som värddar för integrerad biodrivmedelsproduktion har kemiska massabruk, mekaniska massabruk/pappersbruk, sågverk samt fjärrvärmenät beaktats, liksom fristående produktion. Integrationen med skogsindustrierna har beskrivits i detalj i (Wetterlund, Pettersson, Lundmark, *et al.*, 2013; Pettersson *et al.*, 2015), medan integrationen med fjärrvärmenät samt fristående lokalisering har uppdaterats i denna studie.

För att göra urvalet av fjärrvärmenät att inkludera antogs att för att ett nät ska vara aktuellt som värd för biodrivmedelsproduktion bör nätet ha en baslast om minst 10 MW värme, vilket motsvarar runt 300 GWh värme per år. Urvalet gjordes utifrån produktions- och leveransstatistik över flera år (Energiföretagen, 2016). För varje nät uppskattades en tillgänglig värmelast som skulle kunna täckas av överskottsvärme från en biodrivmedelsanläggning under 4800 timmar per år (motsvarande bedömd årlig drifttid för nya biokraftvärmeverk, (Nohlgren *et al.*, 2014)). Överskottsvärmen antogs inte kunna konkurrera med existerande baslastsproduktion i form av värme från avfallsförbränning eller industriell överskottsvärme. För att kunna utgöra konkurrenskraftiga lokaliseringalternativ gentemot integration med skogsindustri måste även biodrivmedelsproduktion i fjärrvärmenät kunna köras under hela året (7838 timmar), men med antagen möjlig

värmeleverans till nätet endast under 4800 timmar/år. Under resterande timmar, då inget värmeunderlag antogs finnas, antogs istället utökad elproduktion genom kondensdrift.

För fristående anläggningar har ett urval av skogsterminaler inkluderats som lokaliseringsmöjlighet för de fristående anläggningar, för att säkerställa transportmöjligheter. Inga integreringsfördelar har dock beaktats, varför dessa räknas som fristående. En bestämd storlek om 400 MW bränsle in ansattes för alla fristående anläggningar, vilket är jämförbart med det nuvarande största biokraftvärmeverket i Sverige (Fortum, Värtanverket).

För att utvärdera nyttan med och effekterna av att integrera biodrivmedelsproduktion med olika värddar (industri respektive fjärrvärmesystem) har det antagits att värddarna står i begrepp att genomföra betydande energisystems-/energiteknikrelaterade investeringar. Värddarna antogs då ha valet att antingen investera i (1) konventionell teknik (pannor och/eller turbiner), eller (2) avancerad biodrivmedelsproduktion (inklusive pannor och/eller turbiner, där så tillämpligt) som kan uppfylla samma energitjänster som den konventionella tekniken och samtidigt producera biodrivmedel.

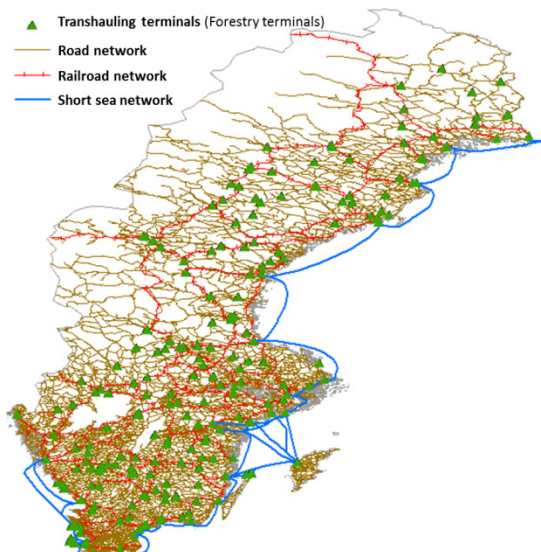
Svartlutsförgasning i kemmassabruk antogs utgöra alternativinvestering för nyinvestering i en konventionell sodapanna (inklusive nytt ångsystem, ny turbin etc.), medan biodrivmedelstekniker med värmeöverskott (fastbiomassaförgasning samt samproduktion av etanol och biogas) antogs utgöra alternativinvestering för ny fastbränslepanna i massa- och pappersbruk (ångpanna) och sågverk (hetvattenpanna). I fjärrvärmenät antogs nytt biokraftvärmeverk utgöra alternativinvestering.

4.2.4 Transport och distribution

Transport- och distributionskostnaderna i BeWhere Sweden har här uppdaterats för att ta bättre hänsyn till intermodalitet samt till transport av gasformiga drivmedel. Transport av bioråvaror och producerade flytande biodrivmedel kan i modellen göras med lastbil, tåg eller fartyg. För SNG kan distribution göras genom inmatning på gasnät där sådant finns (lokala gasnät eller det nationella naturgasnätet i sydvästra delarna av Sverige). För lokaliseringar utan gasnät har producerad SNG antagits transporteras som CBG (komprimerad biogas).

För väg-, järnvägs- och fartygstransporter har transportkostnaderna mellan alla möjliga ursprung och destinationer föroptimerats med hjälp av Network Analyst i ESRI's ArcGIS, för att få fram en kostnadsoptimal sträcka och kombination av transportslag, mellan samtliga givna par av punkter. I denna optimering har transportnätverk för väg, järnväg och fartygsrutter inkluderats, liksom skogsterminaler och hamnar (se Figur 13). Tillvägagångssättet har beskrivits mer i detalj i (S. de Jong *et al.*, 2017). För transport som CBG (vägtransport) samt för injektion i gasnät har data från Börjesson *et al.* (2016) använts.

Tabell 18 presenterar de uppdaterade modellerade transportkostnaderna.



Figur 13. Översikt över transportnätverk och terminaler som inkluderats i BeWhere Sweden (S. de Jong *et al.*, 2017).

Tabell 18. Transportkostnader (EUR/GWh) för bioråvaror och biodrivmedel. *d* är transportavstånd i km. Baseras på (Börjesson *et al.*, 2016; S. de Jong *et al.*, 2017).

Energibärare/råvara	Lastbil	Tåg	Fartyg	Gasnät
Rundved	326 + 26,4 <i>d</i>	1316 + 2,14 <i>d</i>	1060 + 0,983 <i>d</i>	–
Grot, stubbar (flisat)	1103 + 34,8 <i>d</i>	1924 + 2,82 <i>d</i>	1046 + 1,29 <i>d</i>	–
Industriella biprodukter	554 + 33,0 <i>d</i>	1826 + 2,68 <i>d</i>	1325 + 1,23 <i>d</i>	–
Flytande biodrivmedel	117 + 14,4 <i>d</i>	275 + 0,721 <i>d</i>	972 + 0,654 <i>d</i>	–
SNG	7375 + 31,1 <i>d</i> ^a	–	–	10271

^a Medelkostnad för fordon med komposit- och stålväxelflak.

5 Modellkörningar och analys

Genom tillämpning av de två olika energisystemmodellerna TIMES-Sweden och BeWhere Sweden har tillgängligheten av och konkurrensen om biobränsle analyserats utifrån ett fjärrvärmeperspektiv, med det huvudsakliga målet att utifrån olika scenarier analysera eventuella målkonflikter mellan ökad elproduktion från fjärrvärme, ökad andel biodrivmedel och minskade koldioxidutsläpp. Målsättningen är att resultaten ska bidra till en utökad systemförståelse för interaktioner mellan fjärrvärmesystemet, skogsbiomassasystemet och biodrivmedelssystemet.

5.1 MODELLKÖRNINGAR OCH ANALYS MED TIMES-SWEDEN

TIMES-Sweden har under projektet använts i tre olika studier, där modellutveckling som skett under projekttiden har applicerats (och som ofta initierats vilken typ av utveckling som varit viktigt). Två av studierna har tydligt visat konkurrensen om biomassa.

5.1.1 En explorativ scenarioanalys av effekten av att ha fjärrvärme som en del av det svenska energisystemet

Analysen är en fortsättning av modellkörningar i ett tidigare Fjärrsynsprojekt¹⁶, men med en uppdaterad representation av biomassan (i olika fragment, men ej med utgångspunkt från trädet) och en uppdaterad representation av fjärrvärmeinstallationen hos slutkund (uppdelad på nätanslutning respektive värmeväxlare). Den nya analysen och dess modelluppdateringar omfattas helt av detta projekt.

Syftet med studien var att bedöma fjärrvärmens långsiktiga effekter som en del av det framtida svenska energisystemet. I studien gjordes först en kvantitativ analys med hjälp av TIMES-Sweden och därefter en kvalitativ analys för att fånga upp aspekter som är svåra att fånga med modeller. Vidare beskrivning av studien finns i (Krook Riekkola 2015, Paper IV). Nedan beskrivs några specifika resultat av relevans för konkurrenssituationen mellan fjärrvärmesystemet, skogsbiomassasystemet och biodrivmedelssystemet.

I studien jämfördes ett framtida energisystem med fjärrvärme med ett system utan fjärrvärme. Förändringen kan ses som radikal. Det finns dock fördelar med att jämföra det betraktade systemet med ett fundamentalt annorlunda system, bland annat belyses skillnaderna tydligare (för djupare analys se kapitel 7.3 i Krook Riekkola (2015)).

Resultaten visar (inte så överraskande) att användningen av biomassa är högre i scenariot med fjärrvärme. Det som är lite mer överraskande är att trots att konkurrensen om biomassa är högre i scenariot med fjärrvärme (jämfört med scenariot utan fjärrvärme), så är produktionen av biodrivmedel högre i scenariot

¹⁶ Fjärrsynsprojekt Samhällsekonomisk analys av fjärrvärme, Rapport 2013:5

med fjärrvärme (se figur 19). Anledningen är att optimeringen ser biodrivmedel som mer lönsamt när det kan integreras med fjärrvärmenätet, dvs får avkastning för spillvärmens. En annan skillnad mellan de två scenarierna är utnyttjandet av skogsrester och biprodukter från industri, vilket är betydligt lägre i scenariot utan fjärrvärme. Dvs den högre användningen av biomassa i scenariot med fjärrvärme innebär inte nödvändigtvis ett högre uttag av skog, dvs kan ha samma ekologiska fotavtryck. För att korrekt fånga upp dessa mekanismer krävs en modell med mer detaljerad representation, i linje med den utveckling som sker i TIMES-Sweden och som beskrivs i kapitel 4.1.

Biobränslepotentialen inkluderar både biomassa från skogen, industrin, energiskog och jordbruksprodukter. Denna är troligen fortfarande överskattad. TIMES-Sweden har senare uppdaterats till Börjesson (2016), och är i färd att anpassas till SKA 15 (Swedish Forest Agency, 2015).

Tabell 19. Sektoranvändning av biomassa per scenario, med fjärrvärme (FV) och utan fjärrvärme (Ej-FV), i TWh. Totalnivåer i 2020 är i nivå med modellens resultat för 2010 och 2015.

År:	2020	2020	2030	2030	2040	2040
Scenario:	FV	Ej-FV	FV	Ej-FV	FV	Ej-FV
Jordbruk	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3
El och fjärrvärme produktion	31,1	0,3	32,8	-	39,7	-
Industri	4,4	11,4	4,2	11,4	4,2	15,3
Hushåll, service och tjänster	10,3	28,9	13,6	18,6	17,5	23,3
Transporter - Till biodrivmedelsproduktion	14,4	15,8	59,4	61,1	91,7	86,9
- Importerade biodrivmedel	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7
Total	70	66	120	101	163	135
Använd mängd biodrivmedel	40	41	59	56	62	60

Vad gäller CO₂-utsläppen så är det endast små skillnader mellan modellerna, något mindre utsläpp i fallet med fjärrvärme då fossil bränsle ersätts med el. Anledningen är att även elproduktionen i modellen till stor del är fossilfri.

Däremot så är det stora skillnader vad gäller elanvändning, se Tabell 20. Som förväntat, så är den största skillnaden – mellan scenariot med fjärrvärme och det utan – i sektorerna hushåll respektive service och tjänster. Det finns även stora skillnader i industrisektorerna. TIMES-Sweden hade vid denna tidpunkt inte fått en genomgång av elfordon, därav att inte elbilar kommer in vilket skulle kunna ha förändrat körningarna. År 2040 så var den totala elanvändningen 11 TWh högre i scenariot med stor andel värmepumpar (Ej-FV) jämfört med scenariot med fjärrvärme. Om man kompenserar för att bostäder med värmepumpar tillåts vara mindre energieffektiva så blir skillnaden än större. Då skillnaden i elanvändning för uppvärmning är än större (17 TWh). Detta gör att skillnaderna blir än större

under vinterperioden, vilket är definierande för behovet av installerad effekt samt perioden som har högst andel fossil elproduktion. Dvs resultaten pekar på att fjärrvärme *ur ett systemperspektiv* är att föredra framför värmepumpar.

Tabell 20. Årlig elanvändning per sektor och scenario, med fjärrvärme (FV) och utan fjärrvärme (Ej-FV), i TWh. Värden inom parentes representerar elanvändningen om man tar hänsyn till att bostäder med värmepumpar har XX% större värmebehov (i enlighet med BBR).

År	2020	2020	2030	2030	2040	2040
Scenario:	FV	Ej-FV	FV	Ej-FV	FV	Ej-FV
Industr och jordbruk	48,5	43,3	51,4	43,5	52,9	47,8
Hushåll, service och tjänster ¹	64,0	76,8	63,7	81,0	65,9	82,5
Transporter	5,1	5,1	7,2	7,2	10,3	10,3
Fjärrvärme	6,2	-	6,2	-	-	-
Total	123,8	125,3	128,6	131,8	129,0	140,6

5.1.2 Konsekvensanalys av olika byggkrav på nya respektive existerande bostäder

Analysen gjordes i samarbete med Boverket men inom ramen för detta projekt, då analysen möjliggjorde tillgång på data för bostäder och uppvärmningsbehov. Vilket ledde till framtagande av olika scenarion för utveckling av efterfrågan på uppvärmning och varmvatten i respektive byggnadskategori (se kapitel 4.1.1).

I analysen jämfördes tre olika scenarier med avseende på olika energikrav för nya byggnader (se referens, 25% skärpning, 50% skärpning i Figur 8). Konsekvensanalysen fokuserade på förändringar av levererad energi, energi mix, elproduktion och CO₂-utsläpp.

Generellt visade resultaten små avvikelser, då en skärpning av energikraven för nya byggnader endast leder till marginella skillnader i mängden levererad energi jämfört med referensalternativet. För alla scenarier minskade den levererade mängden energi till bostäder mellan år 2010 och 2030, framförallt genom byte från direktverkande el till värmepumpar. För referensscenariot minskade den levererade energin med 11,4 TWh, motsvarande minskning vid skärpning av energikraven med 25 respektive 50 procent var 11,8 respektive 12,0 TWh. Skillnaderna mellan de tre scenarierna var således små.

Skillnaden i koldioxidutsläppen mellan scenarierna var än mindre. Detta beror dels på att förändringarna av levererad energi var små mellan scenarierna, men även på att bostadssektorn i stor grad baseras på icke-fossila uppvärmningskällor, detta gäller både direkta (från bränslen) och indirekt utsläpp (från produktion av el och fjärrvärme).

Generellt så är det mängden el för uppvärmning som varierar mest mellan olika år och mellan olika scenarier. Modellresultaten visar på nytta av denna minskning av elanvändning för uppvärmning. T ex så innebär den lägre elanvändningen för

uppvärmning och varmvatten, som ses mellan 2010 till 2030, att el blir konkurrensmässigt att använda i andra sektorer och där ersätter fossil energi.

Vidare beskrivning av studien finns i (Boverket, 2015).

5.1.3 Modellering av långsiktiga klimatmål för Sverige

Analysen gjordes på uppdrag av Miljömålsberedningen, men all biomassa, policy och industri relaterad modellutveckling ligger inom ramen för detta projekt. Varken den nya biomassastrukturen med start från skogen, eller den processororienterade industri representationen var implementerad under uppdraget. I övrigt är modellutvecklingen beskriven i kapitel 4.1 implementerad.

Analysen var uppdelad i två delar. I del 1 analyserades effekten av *olika* nationella klimatmål fram till år 2050¹⁷, samt effekten av olika pris på EU-ETS. I del 2 analyserades effekten av olika sektormål under samma övergripande nationellt klimatmål om ett netto-noll utsläpp år 2045¹⁸. Ett netto-noll utsläppsmål var motiverat utifrån att Miljömålsberedningen har identifierat att nettoutsläppen för de utsläppen som omfattas av TIMES-Sweden bör vara noll om ett nationellt mål om 85% av växthusgaser ska kunna nås år 2045.

Några korta slutsatser:

- Ju tuffare klimatmål desto mer biomassa användes. Ökningen var emellertid störst för slutlig energianvändning av biomassa, och inte i samma grad primärenergien. Anledningen var att vid höga klimatmål, dvs låga CO₂-utsläpp, så användes biomassan mer effektivt.
- Fjärrvärmeefterfrågan var störst i scenarier med mest ambitiösa klimatmål. Detta hänger ihop med fjärrvärmesystemet kan tillgodose sig lågtemperaturvärme, vilket ofta är en restprodukt vid andra processer som använder biomassa som bränsle (i dessa körningar framförallt el- och/eller biodrivmedelsproduktion). Motsvarande så blir andelen värmepumpar lägre i scenarion med ambitiösa klimatmål. Konkurrensen om el, i kombination med fjärrvärmens möjlighet att ta tillvara spillvärme driver detta skifte av lönsamhet mellan värmepumpar och fjärrvärme.
- Modellen visar att det inte är en konkurrens om biomassa mellan el- och fjärrvärmeproduktion utan mellan el- och biodrivmedelsproduktion, men det finns även synergier.
- Det är möjligt att nå mycket låga koldioxidutsläppsnivåer i det svenska energisystemet år 2045, men utformningen av det kostnadseffektiva energisystem varierar beroende på hur ambitiöst etappmål som sätts. Detta visar i sin tur på vikten av att i mer detalj studera de utmaningar förknippade med olika etappmål, vilket även inkluderar att studera konsekvensen under olika antaganden om t.ex. efterfrågeutveckling (speciellt vad gäller transportbehov och efterfrågan på energiintensiva varor såsom t ex stål), utveckling av fossila priser och teknikutveckling.

¹⁷ Analysen används som underlag till SOU 2016:21.

¹⁸ Analysen används som underlag till SOU 2016:47, hela analysen finns redovisad som en bilaga.

I Tabell 21 ges exempel på slutsatser från analysen inkluderade i SOU 2016:47. Vidare beskrivning av antaganden och analys återfinns i (Statens offentliga utredningar, 2016a, 2016b).

Tabell 22. Från SOU 2016:47, Konsekvensanalys av etappmål och strategier. Kap 12.2.3 Analys av utsläppsmål med en energisystemmodell.

Biomassan viktig för en kostnadseffektiv utsläppsminskning

Modellen visar också att biomassan är avgörande för att nå låga utsläppsnivåer på ett kostnadseffektivt sätt, vilket är närmast en unik möjlighet för Sverige. Användningen av biomassa varierar i modellen beroende på hur ambitiöst etappmål som sätts; ju högre reduktionsmål för utsläppen desto högre slutanvändning av biomassa.

Om man i stället tittar på primäranvändningen är denna däremot inte nödvändigtvis högst i scenariot med lägst utsläpp. Primäranvändningen av biomassa har även att göra med hur utbredd fjärrvärmesystem är. Scenarier med låga utsläpp uppvisar en över tid högre användning av fjärrvärme, jämfört med andra scenarier, vilket gör att biomassan kan användas effektivt för att leverera flera olika energitjänster.

Modellresultaten visar också att vid införandet av etappmål för koldioxidutsläppen från sektorer som ej omfattas av EU:s system för handel med utsläppsrätter, så ökar utsläppen från de handlande sektorerna med ökande ambitionsnivån i etappmålet. Anledningen till detta är framför allt att det finns en konkurrens om biomassa mellan sektorer. Denna konkurrenssituation är viktig att ta hänsyn.

5.2 MODELLKÖRNINGAR OCH ANALYS MED BEWHERE SWEDEN

Syfte: Använda BeWhere Sweden för att analysera olika faktorer inverkan på målkonflikter mellan ökad biobaserad elproduktion och användning av biomassa för transportbränsleproduktion.

I denna studie har BeWhere Sweden använts för att undersöka om och hur framtida mål för skogsbaserad biodrivmedelsproduktion i Sverige kan uppnås, och vilken roll fjärrvärmesystemet kan ha som potentiella värddar för nya produktionsanläggningar. Under olika omvärldsscenarier har analyserats hur ambitiösa mål för biodrivmedel påverkar (1) andra användare av (skogs)biomassa, och (2) möjligheter till biobaserad elproduktion.

I detta kapitel ges endast en översiktlig beskrivning av modellen med fokus på de genomförda modellkörningarna. En översiktlig modellbeskrivning finns i avsnitt 2.3, med en del detaljer centrala för denna studie (med fokus på modellutveckling) även i avsnitt 4.2. I övrigt hänvisas läsaren till tidigare publikationer för mer ingående modellbeskrivning (Wetterlund, Pettersson, Lundmark, *et al.*, 2013; Wetterlund, Pettersson, Mossberg, *et al.*, 2013; Pettersson *et al.*, 2015).

5.2.1 Beskrivning av modellkörningar

Modellen har körts stegvis (steglängd om 1 TWh) för mål om skogsbaserad biodrivmedelsproduktion i intervallet 0-40 TWh per år, för år 2030 ¹⁹.

Som beskrivits i avsnitt 4.2.3 har det antagits att investering i ny biodrivmedelsproduktion jämförs med investeringar i konventionell teknik. Utifrån detta har två olika grundläggande angreppssätt anlagts för systemanalysen:

- A) **Alternativa investeringskostnader** beaktas. Med detta angreppssätt belastas de nya biodrivmedelsanläggningarna endast med de inkrementella kostnaderna jämfört med ovan beskrivna alternativinvesteringar i konventionell teknik.
- B) **Inga alternativa investeringskostnader** beaktas. Nya biodrivmedelsanläggningar bär med detta angreppssätt hela kostnaden för nyinvesteringar.

För att analysera inverkan från olika omvärldsfaktorer har ett antal scenarier modellerats, för vart och ett av de två angreppssätten A respektive B:

1. **Basfall:** biomassascenariot "Dagens skogsbruk" från SKA 15 tillämpas, med teknoekonomisk potentialjustering som beskrivits i avsnitt 3.2.1.
2. **Restriktiva biomassatillgångar**²⁰: scenariot "Dubbla naturvårdsarealer" från SKA 15 tillämpas, med ytterligare restriktion vad gäller tillåten stubbskörd (se avsnitt 3.2.1). Totalt minskar potentialen för rundved med 9% jämfört med basfallet, för grot med 11%, och för stubbar med 72%. Detta representerar ett scenario med mer fokus på även andra miljömål (än begränsad klimatpåverkan) som kan påverkas negativt av ökade uttag av skogsbiomassa för energiändamål.
3. **Ökade marknadspriser för biomassa:** priset på biomassa (samtliga sortiment) ökas med 50%. Detta representerar ett scenario där ökad konkurrens om biomassa leder till högre marknadspriser för alla användare i systemet.
4. **Ökat elpris:** elpriset ökas med 100% från 21 EUR/MWh till 42 EUR/MWh. Detta representerar ett scenario där ökad samtidig elektrifiering av transport och industri riskerar leda till högre elpriser.
5. **Begränsad maxkapacitet:** maxkapaciteten på nya biodrivmedelsanläggningar begränsas till 400 MW (biomassa in). Detta representerar ett scenario där biodrivmedelsanläggningar inte byggs större än i samma storleksordning som dagens största biomassabaserade anläggningar (bio-KVV, massabruk).
6. **Ingen svartlutförgasning:** detta representerar ett scenario där massaindustrin antas vara restriktiv till stora tekniksprång och där sodapannor utgör enda

¹⁹ Noteras skall att 40 TWh är betydligt högre än vad som förekommer i t.ex. den så kallade FFF-utredningen (Statens offentliga utredningar, 2013) för 2030 men används för att analysera hur systemet reagerar nära eller över maximal belastning vad gäller skogsbiomassauttag. Denna analys motiveras t.ex. av att om andra länder följer i Sveriges fotspar och antar ambitiösa mål för omställning av transportsektorn mot en ökad andel biodrivmedel, skulle Sverige kunna bli en betydande exportör av avancerade biodrivmedel då begränsningar införs avseende användning av jordbruksbaserade drivmedel (European Union, 2015).

²⁰ Detta scenario körs endast upp till 30 TWh biodrivmedel, pga. att tillgångsrestriktionerna omöjliggör högre nivåer.

tillgängliga teknik för nyinvesteringar i svartlutssystemet i kemiska massabruk.

7. **Ingen alternativinvestering i bio-KVV i fjärrvärmesystem:** detta representerar ett scenario med generellt minskande värmeunderlag för fjärrvärme²¹ och ökad mängd avfalls-KVV, med lågt intresse för nya/ersatta bio-KVV som följd.

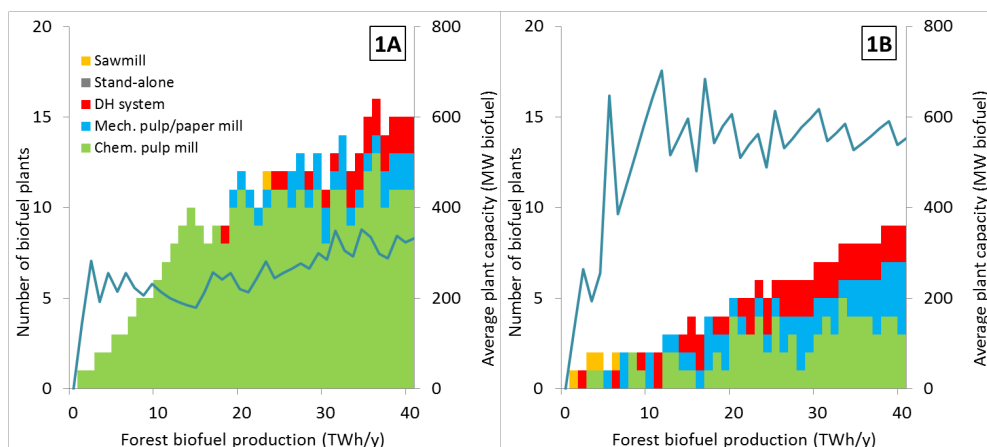
5.2.2 Resultat: Nya produktionsanläggningar för biodrivmedel

I Figur 14 visas modellresultat för Basfallet (1A, 1B) vad gäller antalet nya produktionsanläggningar för biodrivmedel för att uppnå de modellerade mängderna producerade skogsbiodrivmedel i Sverige. Staplarnas färger visar vilken typ av industri som är värd för de nya anläggningarna. Som framgår av figuren dominerar integration i kemiska massabruk upp till mycket höga nivåer av biodrivmedel, under förutsättning att alternativinvesteringar antas (vänstra delen av figuren, 1A). Anledningen är att när inkrementella kostnader beaktas är svartlutsförgasning med metanolproduktion (BLG-MeOH) den klart föredragna tekniken, eftersom alternativinvesteringen (ny sodapanna) också har mycket hög kostnad. Detta gör då biodrivmedelsproduktionen relativt sett betydligt billigare än andra teknik/integrationskombinationer. Vid ca 14 TWh är BLG-potentialen i princip mättad, vilket gör att ytterligare biodrivmedelbehov möts av andra tekniker – främst förgasning av fast biomassa till SNG (BMG-SNG) integrerat i kemmassabruk, mekmassabruk eller, vid ytterligare ökande nivåer, fjärrvärmenät.

Om biodrivmedelsproduktion *inte* krediteras med kostnader för alternativinvesteringar (högra delen av figuren, 1B) är BLG för kostsamt att investera i, vilket gör att i synnerhet SNG-spåret föredras från första producerade TWh. Även här visar resultaten att kemmassabruk är intressanta som värdar för integrationen. De är däremot inte alls lika dominerande, utan nu kommer även fjärrvärmenät in som värdar betydligt tidigare.

Utan alternativinvesteringar får biodrivmedelsanläggningarna bära hela kostnaden, vilket på grund av skaleffekter ("economy of scales") gynnar anläggningar med betydligt större produktionskapacitet. Detta visas i Figur 14 som linjer (högra y-axeln).

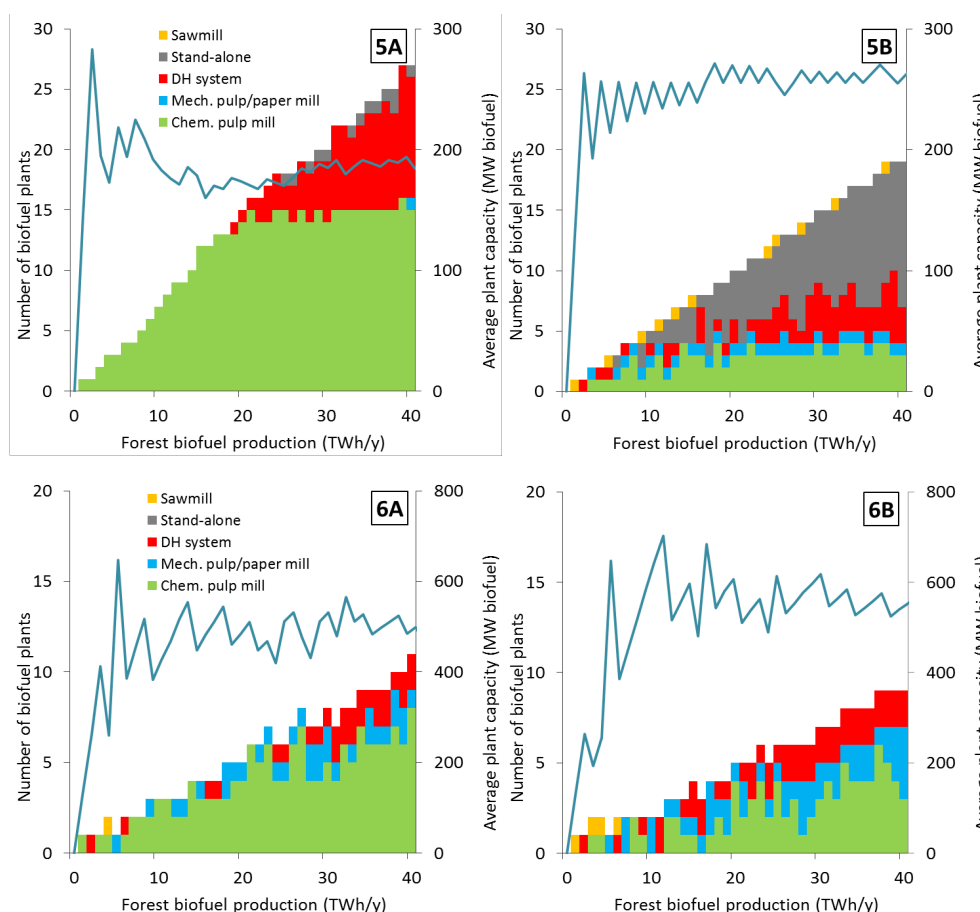
²¹ På grund av såväl klimatförändringar som ökad konkurrens från andra värmesystem, såsom t.ex. bergvärmepumpar.



Figur 14. Översikt över resulterande antal anläggningar (staplar) för att uppnå olika produktionsnivåer av skogsbiodrivmedel i Sverige, samt över medelproduktionskapacitet (MW biodrivmedel) för anläggningarna (linje) i Basfallet. Staplarnas färger visar vilken typ av industri som är värd för de nya anläggningarna (integrerad produktion). Till vänster visas resultat för när alternativa investeringskostnader beaktas (1A), till höger för när de inte beaktas (1B).

För att ytterligare undersöka vilken roll tillåten maxkapacitet samt tillgänglig teknik spelar visar Figur 15 motsvarande resultat för scenarierna Begränsad maxkapacitet (5A, 5B) samt Ingen svartlutsförgasning (6A, 6B). Resultaten visar att när svartlutsförgasning ej tillåts blir skillnaden i resulterande övergripande anläggningsstruktur (antal anläggningar, typ av lokalisering, produktionskapacitet) när alternativinvesteringar beaktas (6A) respektive inte beaktas (6B), betydligt mindre än i Basfallet (1A-1B). Resultaten för scenario 6B är följaktligen i princip identiska med dem för scenario 1B. Detta visar att den främsta fördelen för svartlutsförgasning, ur ett systemekonomiskt perspektiv, ligger i den stora kostnaden för den alternativa investeringen i sodapanna.

BLG-MeOH-anläggningarna baseras på mängden tillgänglig svartlut i kemmassabruken, vilket naturligt begränsar deras maxkapacitet. När maxkapaciteten begränsas för alla tekniker dominerar därför fortfarande svartlutsförgasning upp till potentialsmättnad, varefter även SNG-produktion kommer in i lösningarna (5A). I Basfallet gynnades mycket stora produktionsanläggningar, vilket kräver ett relativt stort värmeunderlag för att kunna rymma hela mängden överskottsvärme. Med begränsad maxkapacitet gynnas istället lokaliseringar med mindre tillgängligt värmeunderlag, vilket innebär att ett flertal fjärrvärmenät inkluderas som värdar för drivmedelsproduktion när BLG-potentialen är mättad (5A). När alternativinvesteringar (vilket för fjärrvärmenät utgörs av bio-KVV) inte beaktas visar resultaten att fristående anläggningar, vilka generellt är lokaliserade närmare råvarans ursprung, kan spela en roll för att uppfylla högre biodrivmedelsmål (5B).

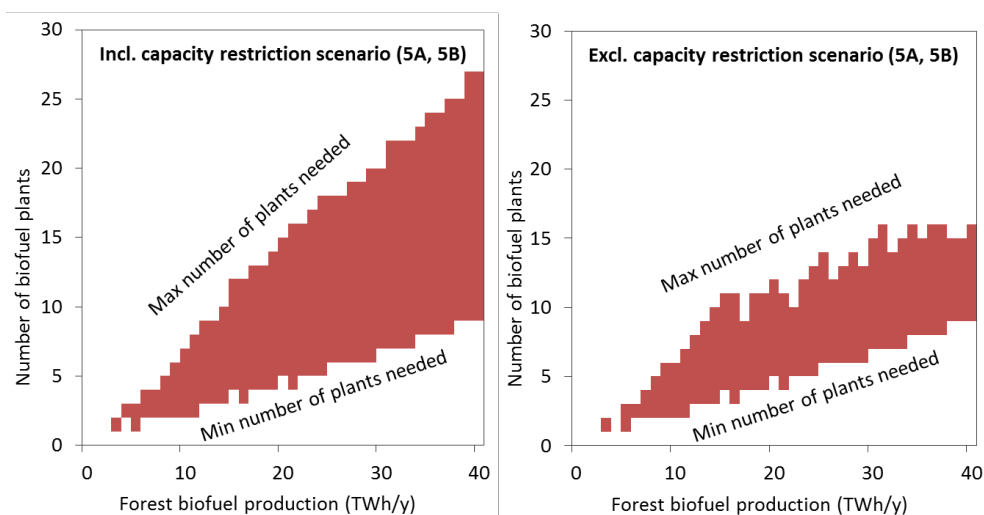


Figur 15. Översikt över resulterande antal anläggningar och medelproduktionskapacitet i scenarierna Begränsad maxkapacitet (överst, 5A och 5B) samt Ingen svartlutsförgasning (underst, 6A och 6B). Till vänster visas resultat för när alternativa investeringskostnader beaktas (5A, 6A), till höger för när de inte beaktas (5B, 6B). Notera skillnad i skala på y-axlarna mellan scenarierna.

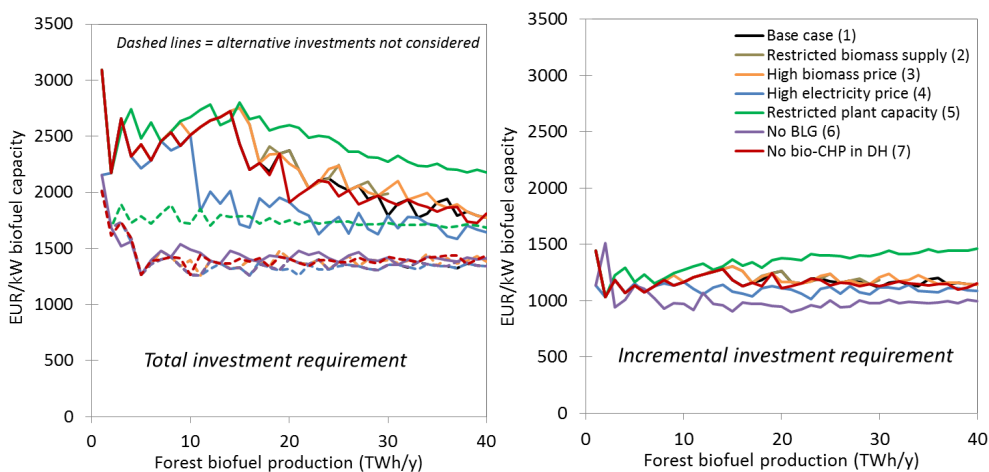
Från resultaten framgår att det är stor spridning mellan det optimala antalet anläggningar för att uppnå ett visst givet mål för biodrivmedelsproduktion, beroende på omvärldsscenario som analyseras. Figur 16 visualiserar denna spridning, över samtliga modellerade scenarier. Störst spridning från Basfallet ger begränsning av maxkapaciteten (5A, 5B), varför figuren även visar spridningen med resultat från dessa scenarier borttagna (högra delen). Som framgår av figuren är spridningen av optimalt antal nya anläggningar betydande även utan denna begränsning.

En motsvarande spridning mellan scenarier går att urskilja vad gäller resulterande specifikt investeringsbehov för att möta olika produktionsnivåer, vilket visas i Figur 17. Den vänstra grafen visas det totala investeringsbehovet, medan den högra visar det inkrementella behovet, när alternativa investeringar beaktas. Här (vänster) syns i synnerhet en stor spridning mellan scenarier där alternativinvestering beaktas och som domineras av svartlutsförgasning (heldragna linjer, med undantag för Ingen svartlutsförgasning 6A, samt Ökat elpris 4A) och scenarier där alternativinvestering *inte* beaktas och som domineras av få stora SNG-anläggningar (streckade linjer, med undantag för Begränsad

maxkapacitet 5B, samt nämnda 6A och i viss mån även 4A). Beaktas istället specifikt inkrementellt investeringsbehov (höger) visar resultaten att skillnaden mellan scenarier är betydligt lägre, med undantag för när maxkapaciteten begränsas (5A) då, som diskuterats, det totala antalet anläggningar som krävs för att möta behovet ökar i princip linjärt.



Figur 16. Visualisering av spridningen av optimalt antal drivmedelsanläggningar i de olika modellerade scenarierna. I den högra figuren har scenarierna med kapacitetsbegränsning exkluderats (5A, 5B).



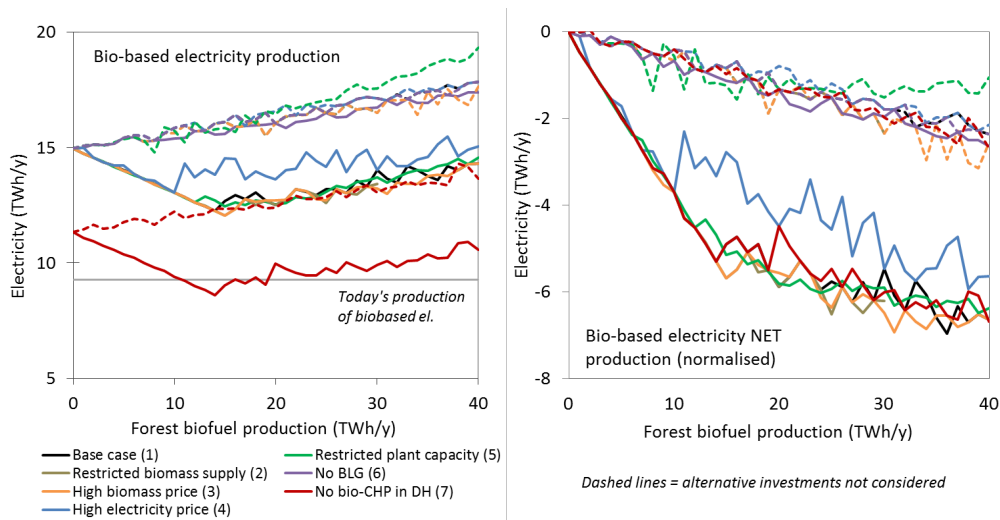
Figur 17. Resultande specifikt investeringsbehov (EUR/kW biodrivmedelsproduktion) i de modellerade scenarierna. Till vänster visas totalt investeringsbehov för biodrivmedelsproduktion, till höger visas inkrementellt investeringsbehov jämfört med alternativa investeringskostnader. Helderagna linjer representerar scenarier där alternativa investeringskostnader beaktas (A), streckade scenarier där de inte beaktas (B).

5.2.3 Resultat: Biobaserad elproduktion

Figur 18 visar resulterande biobaserad elproduktion. Som jämförelse är den biobaserade elproduktionen (avfallsbaserad elproduktion) i fjärrvärmesystem och industrier idag ca 9 TWh (Energiföretagen, 2016; Energimyndigheten, 2017).

Figuren visar två olika basnivåer (0 TWh biodrivmedel): en på 15 TWh och en på dryga 11 TWh. Den högre nivån (scenario 1-6) förutsätter alternativinvesteringar i biokraftvärme i de fjärrvärmesystem som inkluderas som potentiella

värdlokaliseringar för ny biodrivmedelsproduktion. Scenario 7, Ingen alternativinvestering i bio-KVV i fjärrvärmesystem (röda linjer), representerar ett scenario med generellt minskande värmeunderlag och/eller ökad mängd avfalls-KVV, med lågt intresse för nya/ersatta bio-KVV som följd, vilket ger lägre elproduktion som bas. Att elproduktionen även i detta scenario är högre än dagens ca 9 TWh beror främst på antaganden om fortsatta industriella energieffektiviseringar, vilket ökar potentialen för industriellt mottryck (se även Pettersson et al. 2015; Wetterlund, Pettersson, Lundmark, et al. 2013).



Figur 18. Resultande biobaserad elproduktion i de modellerade scenarierna. Till vänster visas total produktion, till höger normaliserad nettoproduktion (negativ) när systemets elbehov subtraheras från produktionen. Heldragna linjer representerar scenarier där alternativa investeringskostnader beaktas (A), streckade scenarier där de inte beaktas (B).

Resultaten visar att i de flesta fall där alternativa investeringskostnader beaktas (A, heldragna linjer) så minskar elproduktionen initialt, upp till ca 14 TWh biodrivmedelsproduktion. Anledningen till detta är som nämnts att svartlutsförgasning (BLG-MeOH) är den klart föredragna tekniken när inkrementell kostnad beaktas, och med svartlutsförgasning istället för konventionell sodapanna minskar den industriella elproduktionen väsentligt. Vid ca 14 TWh är BLG-potentialen i princip mättad, vilket gör att ytterligare biodrivmedelbehov möts av andra tekniker – främst förgasning av fastbiomassa till SNG men även en mindre del samproduktion av etanol och biogas. Båda dessa tekniker samproducerar en större mängd el, vilket gör att trenden vänder uppåt.

Om biodrivmedelsproduktionen inte kan krediteras med alternativinvesteringar (B, streckade linjer) är BLG i de flesta scenarier för kostsamt att investera i, vilket gör att framförallt SNG-spåret föredras från första producerade TWh. Detta inverkar på elproduktionen som följer en stigande trend. Även ett högt elpris (scenario 4, blå linje) främjar i viss mån andra tekniker än BLG.

För att undersöka nettoeffekten på biobaserad el i systemet visas till höger i Figur 18 nettoproduktionen av biobaserad el. I denna figur har systemets elförbrukning (industrins användning samt användning för ny biodrivmedelsproduktion) subtraherats från systemets totala elproduktion, normaliserat till respektive

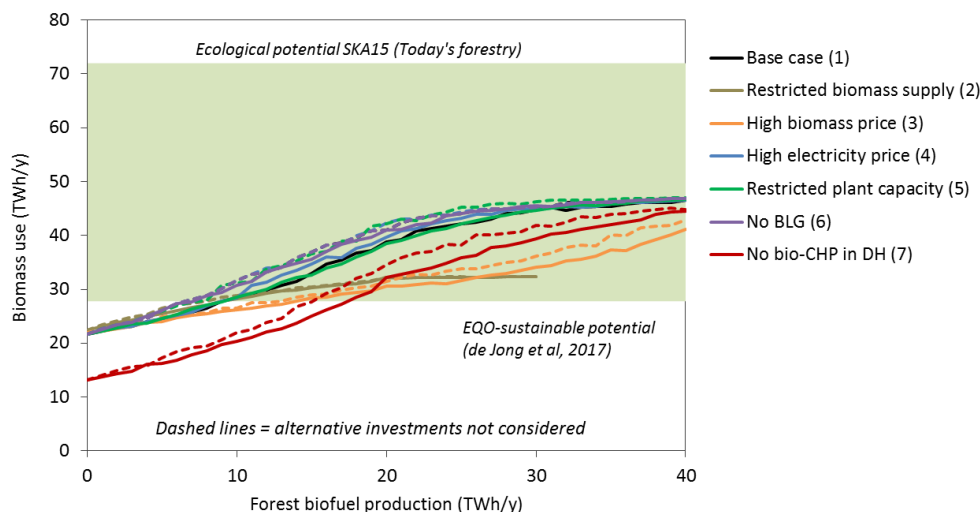
scenariers basnivå (dvs. 0 TWh biodrivmedelsproduktion). Även utan ny biodrivmedelsproduktion har systemet i samtliga fall ett nettounderskott av el även med antagen ny bio-KVV i fjärrvärmesystemen. Med ny bio-KVV uppgår nettounderskottet till ca 5 TWh (scenario 1-6), utan till ca 8 TWh (scenario 7). Av resultaten framgår att i BLG-dominerade scenarier (dvs. när inkrementella kostnader beaktas, heldragna linjer) ger produktion av skogsbaserade biodrivmedel upphov till ett nettounderskott av biobaserad el i systemet. Effekten är ca 0,35-0,45 TWh elunderskott per producerad TWh biodrivmedel upp till ca 14 TWh drivmedel, varefter den relativa effekten avtar ju mer "utspädd" svartlutsförgasningen blir i produktionsmixen. Som jämförelse har scenarier som domineras av SNG-produktion (B, streckade linjer, samt 6, Ingen svartlutsförgasning) ett nettounderskott på ca 0,06 TWh per producerad TWh biodrivmedel.

5.2.4 Resultat: Biomassaanvändning

Som beskrivits ovan har två olika potentialscenarier för skogsbiomassa modellerats, baserat på SKA 15: "Dagens skogsbruk" (teknisk-ekonomisk-ekologisk potential) (scenario 1, 3-7), och (2) "Dubbla naturvårdsarealer" med ytterligare restriktion vad gäller tillåten stubbskörd (scenario 2).

Figur 19 visar resulterande uttag av avverkningsrester (grot och stubbar) i samtliga modellerade scenarier. Figuren visar även två olika nivåer för bedömningar av hållbart uttag av skogsbruksrester (se även avsnitt 3.2.1), där den högre är nettopotentialen från "Dagens skogsbruk" i SKA 15 efter att Skogsstyrelsens rekommendationer beaktats (dvs. ekologisk potential) och den lägre är den uttagsnivå som bedöms som hållbar för att undvika konflikter med andra miljömål (J. de Jong *et al.*, 2017).

Största andelen av de använda avverkningsresterna utgörs av grot. Stubbar, som är förknippade med betydligt högre uttagskostnader, spelar i de flesta scenarier endast en marginell roll vid lägre produktionsnivåer för biodrivmedel (0-3 TWh stubbar vid 10 TWh biodrivmedelsproduktion).



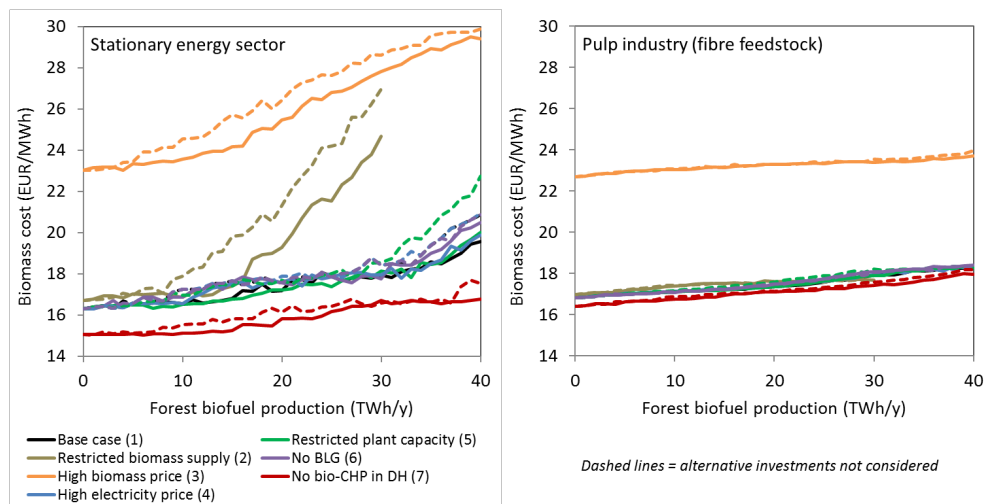
Figur 19. Resultande uttag av avverkningsrester (grot och stubbar) i de modellerade scenarierna. Heldragna linjer representerar scenarier där alternativa investeringskostnader beaktas (A), streckade scenarier där de inte beaktas (B).

Som framgår av figuren kan i storleksordningen minst 8-10 TWh biodrivmedel produceras innan det riskerar att medföra negativa konsekvenser för andra miljömål. Noteras skall att i dessa scenarier också produceras ca 4-6 TWh mer biobaserad el, jämfört med dagens produktion om ca 9 TWh (Figur 18 ovan), vilket bidrar till den ökade efterfrågan på skogsbiomassa. Detta innebär också att scenarierna utan alternativa investeringar i bio-KVV (7A, 7B) medger betydligt högre nivåer av biodrivmedelsproduktion innan negativa miljökonsekvenser riskeras (15-18 TWh).

För att undersöka hur andra användare av skogsbiomassa påverkas av ambitiösa produktionsmål för skogsbaserade biodrivmedel visar Figur 20 de resulterande biomassakostnaderna för de två användningsområden som kan befaras påverkas mest – stationära energisektorn (el- och värmeproduktion) samt massaindustrin (fiberråvara). För båda användarkategorierna syns en ökning över det studerade spannet, men med betydligt högre inverkan på energisektorn än massaindustrin. Redan vid 10 TWh biodrivmedelsproduktion visar resultaten för vissa scenarier på en kostnadsökning för energisektorn på upp mot 7%, jämfört med vid 0 TWh biodrivmedelsproduktion. Vid 20 TWh har detta vuxit till 15% och vid 40 TWh till 39%.²² Motsvarande ökning för massaindustrin är 3, 5 respektive 11%, dvs. en betydligt lägre påverkan. Förklaringen ligger i att massaindustrin modellerats relativt statiskt i BeWhere Sweden, med ett fördefinierat råvarubehov som kan mötas med ett begränsat antal biomassasortiment (rundved samt sågverksflis). Energisektorn har modellerats delvis mer flexibelt, genom att efterfrågan kan mötas av fler olika sortiment. Vid brist på billigast tillgängliga råvara byter modellen till ett dyrare sortiment. Högst kostnad för energisektorn fås vid användning av pellets i värme- och kraftvärmeverk, vilket också är den

²² Dessa siffror gäller för scenarierna baserade på biomassapotentier enligt "Dagens skogsbruk" (scenario 1, 3-7). I scenariot Restriktiva biomassatillgångar (2A, 2B) är ökningen vid 10 TWh 2-7%, vid 20 TWh 15-27% och vid maxproduktionen 30 TWh 48-61%.

huvudsakliga förklaringen till den "svans" som syns vid höga biodrivmedelsnivåer.



Figur 20. Resultande biomassakostnader (medelkostnad) för stationära energisektorn (vänster) och massaindustrin (höger) i de modellerade scenarierna. Kostnaderna inkluderar såväl råvara som transport. Heldragna linjer representerar scenarier där alternativa investeringskostnader beaktas (A), streckade scenarier där de inte beaktas (B).

Den största orsaken till kostnadsökningen beror på att dyrare biomassaråvara (dyrare sortiment, såsom exempelvis stubbar, och/eller från ett geografiskt område med högre kostnader) behöver tas i anspråk, medan transportkostnaden har mindre inverkan. Noteras skall att i BeWhere tillämpas en statisk prisstruktur för biomassaråvara, dvs. ingen hänsyn tas till lokala/regionala marknadsaspekter. I realiteten är troligt att en ny stor användare av biomassa, som en ny biodrivmedelsanläggning, skulle ha potentialen att lokalt förändra prisbilden för olika sortiment. I ett parallellt projekt²³ pågår just nu arbete kring att undersöka just inverkan från marknadseffekter inducerade av kraftigt ökad lokal/regional efterfrågan på biomassa. I projektet mjuklänkas BeWhere Sweden med en ekonomisk marknadsmodell för skogsbiomassa (EconMod) framtagen vid Nationalekonomi vid LTU (Ouraiich and Lundmark, 2016). Resultat väntas under 2017.

²³ "Storskalig utbyggnad av bioraffinaderier: Nya värdekedjor, produkter och effektivt utnyttjande av skoglig biomassa" (finansierat av Formas, 2015–2018).

6 Sammanvävda slutsatser

I denna studie har två energisystemmodeller, TIMES-Sweden och BeWhere, använts för att analysera vilken inverkan olika faktorer har på eventuella målkonflikter mellan ökad biobaserad elproduktion och användning av biomassa för transportbränsleproduktion. Därutöver så har de enskilda modellerna applicerats på modellspecifika analyser. TIMES-Sweden har använts för att identifiera kostnadseffektiva målbanor för låga CO₂-utsläpp och en samhällsekonomisk analys av fjärrvärme. BeWhere Sweden har använts för att undersöka om och hur framtida mål för skogsbaserad biodrivmedelsproduktion i Sverige kan uppnås, och vilken roll fjärrvärmenät kan ha som potentiella värddar för nya produktionsanläggningar.

TIMES-Sweden fångar konkurrensen om biomassa mellan olika sektorer och olika användningsområden inom respektive sektor. BeWhere fångar istället främst hur olika användare (industrier samt energiföretag) och olika biomassasortiment påverkas vid olika scenarier för ökad användning av biomassa (i den här studien för användning som råvara för drivmedelsproduktion). De båda modellerna har därmed delvis olika perspektiv på energisystemet i fokus, med olika delar dynamiskt modellerade. Detta gör att modellerna har potential att utgöra starka komplement i den nationella energisystemanalysen.

6.1 MÅLKONFLIKTSANALYS

Analysen med TIMES-Sweden visar tydligt på hur konkurrensen om biomassa ökar i takt med högre klimatmål, men att det inte är entydigt hur den används "optimalt". Vid analysen av olika övergripande svenska klimatmål för år 2050, ses biomassa i alla scenarion med långsiktiga klimatmål framförallt öka i el- och fjärrvärmesektorn samt i transportsektorn. För mer netto-noll klimatmål ökar efterfrågan av biomassa ytterligare, istället för naturgas som är fallet i scenarier med mindre ambitiösa klimatmål. Ökningen sker framförallt genom att bio-kraftvärme med koldioxidlagring kommer in i systemet (från och med år 2040). Dessa används för att få negativa CO₂-utsläpp, vilket kräver en viss storlek för att få lönsamhet, och hamnar således bara i de största fjärrvärmenäten. I dessa ambitiösa klimatmål används biogasturbiner för att balansera effekttopparna.

Ett övergripande svenskt klimatmål om en 85% reduktion av växthusgaser, innebär netto-noll CO₂-utsläpp för energisystemet. Då olika sektormål analyseras i kombination med ett netto-noll utsläppsmål, skiljer sig biomassans användningsområde initialt åt mellan olika sektormål för verksamhet som ej omfattas av EU-ETS handelssystemet. Scenarier med höga mål, har år 2030 framförallt högre användning av biodrivmedel inom transportsektor. Detta sker på marginell bekostnad av minskad biomassaanvändning inom el- och fjärrvärmesektorn, och framförallt genom totalt sett ökad mängd biomassa. I slutet av den analyserade perioden (år 2050) är emellertid biodrivmedelsnivåerna jämförbara.

I en annan analys med TIMES-Sweden, där två hypotetiska scenarier med respektive utan fjärrvärme jämförs, pekar resultaten på att biomassan har svårt att

användas tillfullo i scenariot utan fjärrvärme (ett scenario där värmepumpar istället tar fjärrvärmens andel). Detta innebär inte att mindre skog avverkas i scenariot med stor andel värmepumpar, utan d att alla tillgängliga restprodukter från t ex sågindustrin inte får avsättning inom energisystemet. Vidare så visar analysen att biomassan används mer energieffektivt i scenariot med fjärrvärme, då överskottsvärmen i många biomassaprocesser kan användas i fjärrvärmesystemet.

Sammantaget visar resultaten från BeWhere att nya biodrivmedelsanläggningar generellt introducerar mycket liten konkurrens med biokraftvärme om det tillgängliga värmeunderlaget i fjärrvärmenäten, eftersom det är mer kostnadseffektivt ur ett systemperspektiv att integrera drivmedelsproduktion med industrier. Detta gäller i synnerhet om biodrivmedelsproduktionen kan krediteras med kostnader för alternativa investeringar i t.ex. pannor och turbiner. Anledningen är att krediten för alternativinvesteringar i fjärrvärmenät (bio-KVV) är betydligt lägre än den för alternativinvestering i kemmassabruk (sodapannor).

Om kostnader för alternativinvesteringar inte beaktas kan fjärrvärmenät i vissa fall utgöra ett konkurrenskraftigt alternativ som värdar för integrerad biodrivmedelsproduktion som komplement till integrering i skogsindustri, men det gäller främst vid mycket höga produktionsnivåer (>20 TWh biodrivmedel per år) och för stora fjärrvärmenät. Om maxkapaciteten för drivmedelsanläggningar är begränsad kan även mindre fjärrvärmenät utgöra intressanta alternativ, vilket indikerar att fjärrvärmenät kan vara av intresse i alla fall i en uppskalningsfas mellan demonstration och mycket stor skala.

Vad gäller motsättningar mellan produktion av biobaserad el och biodrivmedel så visar resultaten att ambitiösa mål för biodrivmedelsproduktion från skogsråvara riskerar att stå i konflikt med mål för att öka nettoproduktionen av biobaserad kraftvärmeel. Eftersom analysen med BeWhere endast omfattar en delmängd av det totala energisystemet vilket bara inkluderar biobaserad elproduktion (i industri och fjärrvärmenät) samt skogsindustrins elanvändning har det studerade systemet ett nettounderskott av el även utan ny biodrivmedelsproduktion (5-8 TWh per år). Produktion av skogsbaserade biodrivmedel ökar detta nettounderskott med ca 0,35-0,45 TWh per producerad TWh biodrivmedel, när svartlutsförgasning (BLG-MeOH) dominerar drivmedelsproduktionsmixen. Största delen av underskottet beror på minskad industriell mottrycksproduktion (i massa- och pappersindustrin), medan den fjärrvärmebaserade kraftvärmeproduktionen påverkas mindre. Dock ska noteras att utöver biodrivmedel är ökad elektrifiering av transportsektorn ett av huvudspåren för att minska transportsektorns koldioxidutsläpp, vilket även det skulle ge upphov till ett nettounderskott om det inkluderades i det här studerade systemet. Det resulterande nettoelunderskottet från direktanvändning av el i transporter för att möta ett visst givet transportbehov skulle vara i ungefär samma storleksordning som det i de BLG-dominerade scenarierna i den här studien (dvs. ca 0,35-0,45 TWh elunderskott per producerad TWh biodrivmedel)²⁴.

²⁴ Beroende på antaganden kring verkningsgrad i el- respektive förbränningsmotorer. Detta resonemang gäller vid ett grovt antagande om att en elmotor kan utföra ett givet transportarbete tre gånger så effektivt som motsvarande förbränningsmotor på biodrivmedel.

Vidare visar resultaten att det finns möjlighet att samtidigt öka mängden skogsbiomassabaserad elproduktion med ca 4-6 TWh/år, och att samtidigt producera upp mot 10 TWh/år skogsbaserade biodrivmedel, utan att överskrida den uttagsgräns för grot och stubbar där allvarliga negativa konsekvenser på andra miljömål riskeras (främst målen "Levande skogar", "Ett rikt växt- och djurliv" och "Bara naturlig försurning"). Resultaten visar också att särskilt energisektorn, men i viss mån även skogsindustrin, riskerar att drabbas av kraftigt ökade kostnader för bioenergi och bioråvara vid ambitiösa mål för biodrivmedelsproduktion.

6.2 REFLEKTIONER UR ETT MODELLERINGSPERSPEKTIV

Från ett modelleringsperspektiv visar resultaten från BeWhere Sweden en stor spridning i antal diskreta anläggningar som krävs för att uppfylla ett visst givet mål för biodrivmedelsproduktion. Detta i sin tur har signifikant inverkan på den resulterande specifika investeringskostnaden för nya drivmedelsanläggningar. Den sammantagna resulterande specifika kostnaden påverkas också när produktionsmixen byter karaktär, från att domineras av svartlutsförgasning med relativt små anläggningar, till att domineras av SNG från fastbiomassa, med mycket stora anläggningar. Till viss mån kommer den utökade representationen av industri och integrationsmöjligheter i TIMES-Sweden (se avsnitt 4.1.3) kunna fånga upp denna typ av fenomen. BeWhere kommer dock även i fortsättningen vara starkare vad gäller att fånga sitespecifika investeringar.

Vad gäller modellering av biomassabehov i andra sektorer än för biodrivmedelsproduktion gör den delvis alltför statiska strukturen i BeWhere att vissa konkurrensaspekter riskerar att inte fångas upp korrekt. TIMES-Sweden, som har betydligt mer detaljerad beskrivning av efterfrågan från de andra sektorer som inkluderas här, skulle här kunna bidra till att ge en utökad och mer realistisk bild av konkurrenssituationen. I synnerhet vad gäller energisektorn, där BeWhere Sweden anger efterfrågan på biomassa i de olika fjärrvärmenäten, inte på slutbehovet av värme. Med en iterativ koppling mellan TIMES-Sweden och BeWhere skulle energisektorns respons på de ökade kostnaderna för biomassa bättre kunna fångas upp.

7 Sammanfattande slutsatser för fjärrvärmen

Till sist vill vi lyfta upp några fjärrvärmerelaterade slutsatser. Målkonfliktanalysen visar på en viktig roll för biomassan för att nå ambitiösa klimatmål, men att det inte är entydigt hur den används "bäst". Vår scenarioanalys visar att:

- Om allt mer bränslen från skogen ska användas till drivmedel så verkar det vid första anblicken vara negativt för fjärrvärmebranschen, men det behöver inte bli så. Dels kan värmeverken nyttiggöra rester från skogen som få andra vill använda, dels kan överskottsvärme från produktion av biodrivmedel matas in i fjärrvärmenäten.
- Vad gäller konkurrensen om att leverera fjärrvärme, så pekar resultaten från BeWhere Sweden på liten konkurrens mellan nya biodrivmedelsanläggningar och biokraftvärmeverk, eftersom det ur ett systemperspektiv är mer kostnadseffektivt att integrera drivmedelsproduktion med industrier.
- Vad gäller konkurrensen om biobränsle mellan el- och biodrivmedelsproduktion är resultaten inte lika entydiga. I vissa situationer konkurrerar ändamålen om biobränslet medan de i andra samverkar. Körningar med TIMES-Sweden visar att konkurrensen om biobränslen mellan elproduktion och biodrivmedel är större *utan* fjärrvärmeunderlag jämfört med fallet *med* fjärrvärmeunderlag (i det senare fallet används biomassan mer effektivt). Körningar med BeWhere Sweden pekar istället på att biodrivmedelsproduktion i anslutning till fjärrvärmenät riskerar leda till minskad elproduktion från biobränslen, detta trots att flera beaktade drivmedelstekniker även samproducerar en viss mängd el tillsammans med biodrivmedel och fjärrvärme.
- Resultaten från TIMES-Sweden visar att såväl biomassan som fjärrvärmen är en viktig del i att nå riktigt låga koldioxidnivåer, både i de fall fjärrvärmen kommer från biokraftvärme eller biodrivmedelsproduktion och antingen den är integrerad med industrin eller "stand-alone". I fallen med högre andel fjärrvärme används biobränslet mer effektivt.

8 Referenslista

Amerighi, O., Ciorba, U. and Tommasino, M. C. (2010) *Inventory and characterization of existing tools, ATEsT Models Characterization Report, Deliverable D2.1*. Available at: www.cres.gr/atest.

Anderson, J.-O. and Toffolo, A. (2013) 'Improving energy efficiency of sawmill industrial sites by integration with pellet and CHP plants', *Applied Energy*, 111, pp. 791–800. doi: 10.1016/j.apenergy.2013.05.066.

Andersson, J., Furusjö, E., Wetterlund, E., Lundgren, J. and Landälv, I. (2016) 'Co-gasification of black liquor and pyrolysis oil: Evaluation of blend ratios and methanol production capacities', *Energy Conversion and Management*. Elsevier Ltd, 110, pp. 240–248.

Boverket (2015) *Förslag till svensk tillämpning av nära-nollenergibygnader - Definition av energiprestanda och kvantitativ riktlinje*.

Börjesson, P. (2016) *Potential för ökad tillförsel och avsättning av inhemsk biomassa i en växande svensk bioekonomi, Rapport nr. 97 (in Swedish)*. Lund, Sweden.

Börjesson, P., Ahlgren, S., Barta, Z., Björnsson, L., Ekman, A., Erlandsson, P., Hansson, P.-A., Karlsson, H., Kreuger, E., Lindstedt, J., Sandgren, M., Schnürer, A., Trobro, S., Villman, S. and Wallberg, O. (2013) *Sustainable performance of lignocellulose-based ethanol and biogas co-produced in innovative biorefinery systems*. Lund University, Department of Environmental and Energy Systems Studies and the Swedish Knowledge Centre for Renewable Transportation Fuels (f3).

Börjesson, P., Lantz, M., Andersson, J., Björnsson, L., Fredriksson Möller, B., Fröberg, M., Hanarp, P., Hulteberg, C., Iverfeldt, E., Lundgren, J., Röj, A., Svensson, H. and Zinn, E. (2016) *Methane as vehicle fuel – A well-to-wheel analysis (MetDriv)*. Sweden.

Campana, P. E., Leduc, S., Kim, M., Olsson, A., Zhang, J., Liu, J., Kraxner, F. and McCallum, I. (2017) 'Suitable and optimal locations for implementing photovoltaic water pumping systems for grassland irrigation in China', *Applied Energy*, 185, pp. 1879–1889. doi: 10.1016/j.apenergy.2016.01.004.

Churchman, C. W. (1968) *The Systems Approach*. New York: Delacorte Press.

Danielsson, B.-O. (2003) *Uppskattning av sågverkens produktion av träbränslen inom mål 1-området i Dalarna-Gävleborg (in Swedish), Bioenergi i WX Mål 1. Ett strukturfondsprojekt inom Mål 1, Södra skogslänsregionen. Projektbilaga 2*. GDE-Net.

Ebenhard, T., Forsberg, M., Lind, T., Nilsson, D., Andersson, R., Emanuelsson, U., Eriksson, L., Hultåker, O., Iwarsson Wide, M. and Ståhl, G. (2017) 'Environmental effects of brushwood harvesting for bioenergy', *Forest Ecology and Management*, 383, pp. 85–98. doi: 10.1016/j.foreco.2016.05.022.

Ekman, A., Wallberg, O., Joelsson, E. and Börjesson, P. (2013) 'Possibilities for sustainable biorefineries based on agricultural residues – A case study of potential straw-based ethanol production in Sweden', *Applied Energy*, 102, pp. 299–308. doi:

10.1016/j.apenergy.2012.07.016.

Energiföretagen (2016) 'Tillförd energi till kraftvärme och fjärrvärmeproduktion och fjärrvärmeleveranser 2015'. Stockholm: Energiföretagen (tidigare Svensk Fjärrvärme).

Energiföretagen (2017) 'Statistik över bränslen och produktion 2008-2015'.

Tillgänglig från:

<https://www.energiforetagen.se/statistik/fjarrvarmestatik/tillford-energi/> (januari 2017).

Energimyndigheten (2012) *Konsekvenser av ett ökat uttag av skogsbränsle*. Eskilstuna.

Energimyndigheten (2015) *Fastlagda kvoterna för åren 2003-2035*. Available at:

<http://www.energimyndigheten.se/fornybart/elcertifikatsystemet/kvotpliktig/kvotnivaer/> (2015-10-11).

Energimyndigheten (2016) 'Drivmedel och biobränslen 2015. Mängder, komponenter och ursprung rapporterade i enlighet med drivmedelslagen och hållbarhetslagen'. Eskilstuna: Energimyndigheten.

Energimyndigheten (2017) 'Energiläget i siffror 2017'. Eskilstuna:

Energimyndigheten.

European Commission (2013) *EU energy, transport and GHG emissions, trends to 2050 – Reference scenario 2013*. Directorate-General for Energy, Directorate-General for Climate Action and Directorate-General for Mobility and Transport.

European Union (2015) 'Directive (EU) 2015/1513 of the European Parliament and of the Council of 9 September 2015 amending Directive 98/70/EC relating to the quality of petrol and diesel fuels and amending Directive 2009/28/EC on the promotion of the use of energy from renewable'.

Gargiulo, M., Vaillancourt, K. and De Miglio, R. (2016) 'Documentation for the TIMES Model Part IV', *IEA Energy Technology Systems Analysis Programme*, (April), pp. 1–78.

Holmgren, K. M., Berntsson, T. S., Andersson, E. and Rydberg, T. (2016) 'Comparison of integration options for gasification-based biofuel production systems – Economic and greenhouse gas emission implications', *Energy*, 111, pp. 272–294. doi: 10.1016/j.energy.2016.05.059.

Joelsson, E., Wallberg, O. and Börjesson, P. (2015) 'Integration potential, resource efficiency and cost of forest-fuel-based biorefineries', *Computers & Chemical Engineering*, 82, pp. 240–258. doi: 10.1016/j.compchemeng.2015.07.011.

de Jong, J., Akselsson, C., Egnell, G., Löfgren, S. and Olsson, B. A. (2017) 'Realizing the energy potential of forest biomass in Sweden – How much is environmentally sustainable?', *Forest Ecology and Management*, 383, pp. 3–16. doi: 10.1016/j.foreco.2016.06.028.

de Jong, S., Hoefnagels, R., Wetterlund, E., Pettersson, K., Faaij, A. and Junginger, M. (2017) 'Cost optimization of biofuel production – The impact of scale, integration, transport and supply chain configurations', *Applied Energy*, 195, pp.

1055–1070. doi: 10.1016/j.apenergy.2017.03.109.

Kinnwall, M., Heinsoo, K. and Niklasson, M. (2016) *Så går det för skogsindustrin - december 2016*.

Krook Riekkola, A. (2015) *National Energy System Modelling for Supporting Energy and Climate Policy Decision-making: The Case of Sweden*. Doktorsavhandling, Chalmers, Göteborg.

Krook Riekkola, A., Ahlgren, E. O. and Söderholm, P. (2011) 'Ancillary benefits of climate policy in a small open economy: The case of Sweden', *Energy Policy*, 39(9), pp. 4985–4998. doi: 10.1016/j.enpol.2011.06.015.

Krook Riekkola, A. and Söderholm, P. (2013) *Fjärrvärmens och de långsiktiga klimatmålen - En analys av olika styrmedel och styrmedelskombinationer. Fjärrsyn rapport 2013:10*. Stockholm.

Leduc, S., Natarajan, K., Dotzauer, E., McCallum, I. and Obersteiner, M. (2009) 'Optimizing biodiesel production in India', *Applied Energy*, 86(SUPPL. 1), pp. S125–S131.

Loulou, R., Goldstein, G., Kanudia, A., Lettila, A. and Remme, U. (2016) 'Documentation for the TIMES Model-PART I', (July), pp. 1–151.

Lundmark, R., Athanassiadis, D. and Wetterlund, E. (2015) 'Supply assessment of forest biomass - A bottom-up approach for Sweden', *Biomass and Bioenergy*. Elsevier Ltd, 75, pp. 213–226.

Mesfun, S., Sanchez, D. L., Leduc, S., Wetterlund, E., Lundgren, J., Biberacher, M. and Kraxner, F. (2017) 'Power-to-gas and power-to-liquid for managing renewable electricity intermittency in the Alpine Region', *Renewable Energy*, 107, pp. 361–372. doi: 10.1016/j.renene.2017.02.020.

Natarajan, K., Leduc, S., Pelkonen, P., Tomppo, E. and Dotzauer, E. (2014) 'Optimal locations for second generation Fischer Tropsch biodiesel production in Finland', *Renewable Energy*, 62, pp. 319–330. doi: 10.1016/j.renene.2013.07.013.

Nohlgren, I., Herstad Svärd, S., Jansson, M. and Rodin, J. (2014) *El från nya och framtida anläggningar 2014*. Stockholm.

Ouraich, I. and Lundmark, R. (2016) 'A Geographically Explicit Approach for Price Determination of Forest Feedstock under Different Next-Generation Biofuel Production Scenarios: The Case of Sweden', in *The Swedish Association for Energy Economics (SAEE) conference 2016: Meeting Sweden's current and future energy challenges*. Luleå.

Persson, T., Palmér, C. H. and Lithell, C. (2017) *Stubbskörd - hur påverkas klimat och miljö?* Uppsala.

Pettersson, K., Wetterlund, E., Athanassiadis, D., Lundmark, R., Ehn, C., Lundgren, J. and Berglin, N. (2015) 'Integration of next-generation biofuel production in the Swedish forest industry – A geographically explicit approach', *Applied Energy*, 154, pp. 317–332. doi: 10.1016/j.apenergy.2015.04.041.

- PRIMES (2015) 'Resultatfiler från PRIMES körningar under hösten 2015.'
- RES2020 (2007) *Technology Characterisation for Biofuels and Renewable Heating/Cooling Deliverable D.3.2. Monitoring and Evaluation of the RES directives implementation in EU27 and policy recommendations for 2020. A project funded under the Intelligent Energy for Europe.*
- RES2020 (2009) *The Pan European TIMES model for RES2020 Model description and definitions of Scenarios. Monitoring and Evaluation of the RES directives implementation in EU27 and policy recommendations for 2020. A project funded under the Intelligent Energy for Europe p.*
- Rydén, B., Johnsson, J. and Wene, C.-O. (1993) 'CHP production in integrated energy systems examples from five Swedish communities', *Energy Policy*, 21(2), pp. 176–190. doi: 10.1016/0301-4215(93)90139-7.
- Samouilidis, J. (1980) 'Energy modelling: A new challenge for management science', *Omega*, 8(6), pp. 609–621. doi: 10.1016/0305-0483(80)90002-X.
- Schmidt, J., Leduc, S., Dotzauer, E., Kindermann, G. and Schmid, E. (2010) 'Cost-effective CO2 emission reduction through heat, power and biofuel production from woody biomass: A spatially explicit comparison of conversion technologies', *Applied Energy*, 87(7), pp. 2128–2141. doi: 10.1016/j.apenergy.2009.11.007.
- SDC (2016) *Skogsindustrins virkesförbrukning samt produktion av skogsprodukter 2011-2015 (in Swedish).*
- SFIF (2015) 'Database of member companies'. Swedish Forest Industries Federation (August 2012; updated November 2015).
- SFIF (2016) 'Skogsindustriernas miljödatabas (in Swedish)'. Swedish Forest Industries Federation (March 2012; updated 2016).
- Simoës, S., Nijs, W., Ruiz, P., Sgobbi, A., Radu, D., Bolat, P., Thiel, C. and Peteves, S. (2013) *The JRC-EU-TIMES model. Assessing the long-term role of the SET Plan Energy technologies, EUR – Scientific and Technical Research series.* doi: 10.2790/97596.
- Skogsindustrierna (2016) 'Swedish forest industry statistics'.
- Skånberg, K., Olsson, O. and Hallding, K. (2016) *Den svenska bioekonomin: definitioner, nulägesanalys och möjliga framtider.* Stockholm, Stockholm Environment Institute.
- Slegers, P. M., Leduc, S., Wijffels, R. H., van Straten, G. and van Boxtel, A. J. B. (2015) 'Logistic analysis of algae cultivation', *Bioresource Technology*, 179, pp. 314–322. doi: 10.1016/j.biortech.2014.12.033.
- SLU and Skogsstyrelsen (2008) *Skogliga konsekvensanalyser 2008 - SKA-VB 08.* Jönköping.
- Statens offentliga utredningar (2013) 'Fossilfrihet på väg (SOU 2013:84)'. Stockholm.
- Statens offentliga utredningar (2016a) 'En klimat- och luftvårdsstrategi för Sverige

- delbetänkande av Miljömålsberedningen (SOU 2016:47). Stockholm.

Statens offentliga utredningar (2016b) 'Ett klimatpolitiskt ramverk för Sverige - delbetänkande av Miljömålsberedningen (SOU 2016:21)'. Stockholm.

Svensk Fjärrvärme (2011) *Fjärrvärmens bränslen och produktion 2010*. Available at: <http://www.svenskfjarrvarme.se/Statistik--Pris/Fjarrvarme/Energitillforsel>.

Swedish Forest Agency (2015) *Skogliga konsekvensanalyser 2015 – SKA 15, Rapport 10 2015 (in Swedish)*. Jönköping, Sweden: Swedish Forest Agency (Skogsstyrelsen).

Tosato, G. (2009) 'Getting Started with Problem – Defining and Describing the Area of Study. Appendix A in Getting started with TIMES-VEDA, Version 2.7, by Maurizio Gargiulo'. Available at: <http://www.iea-etsap.org/web/Documentation.asp>.

Wene, C.-O. and Rydén, B. (1989) 'A comprehensive energy model in the municipal energy planning process', *Mathematical and Computer Modelling*, 12(8), p. 1050. doi: 10.1016/0895-7177(89)90223-9.

Wetterlund, E., Leduc, S., Dotzauer, E. and Kindermann, G. (2013) 'Optimal use of forest residues in Europe under different policies—second generation biofuels versus combined heat and power', *Biomass Conversion and Biorefinery*. Springer Berlin / Heidelberg, 3(1), pp. 3–16. doi: 10.1007/s13399-012-0054-2.

Wetterlund, E., Pettersson, K., Lundmark, R., Lundgren, J., Athanassiadis, D., Mossberg, J., Torén, J., von Schenck, A. and Berglin, N. (2013) *Optimal localisation of next generation biofuel production in Sweden - part II*. Report f3 2013:26. The Swedish Knowledge Centre for Renewable Transportation Fuels (f3).

Wetterlund, E., Pettersson, K., Mossberg, J., Torén, J., Hoffstedt, C., von Schenck, A., Berglin, N., Lundmark, R., Lundgren, J., Leduc, S. and Kindermann, G. (2013) *Optimal localisation of next generation biofuel production in Sweden*. The Swedish Knowledge Centre for Renewable Transportation Fuels (f3).

Wiberg, R. and Forslund, M. (2012) *Energiförbrukning i massa- och pappersindustrin 2011*. Skogsindustrierna, ÅF.

BIOMASSA, SYSTEMMODELLER OCH MÅLKONFLIKTER

Här analyseras tillgängligheten av och konkurrensen om biobränsle i ett fjärrvärmeperspektiv. Syftet är att bidra till en bättre förståelse av energisystemen och interaktionen mellan fjärrvärmesystemet, skogsbiomassasystemet och biodrivmedelssystemet.

Utgångspunkten har varit två energisystemmodeller som på olika sätt fångar konkurrensen om svensk biomassa. Fokus har dels varit att identifiera eventuella målkonflikter mellan en ökad elproduktion från fjärrvärme, en ökad andel biodrivmedel och minskade koldioxidutsläpp. Ett annat fokus är att identifiera hur modellerna kan vidareutvecklas och hur nyttan kan kommuniceras för att förbättra representationen av biomassa i den nationella energisystemanalysen.

Resultaten visar att biomassan spelar en viktig roll för att nå ambitiösa klimatmål, men att det inte är entydigt hur den används på bästa sätt. Sammantaget visar resultaten att fjärrvärme är en viktig del i att nå riktigt låga koldioxidnivåer, oavsett om den producerade fjärrvärmen kommer från biokraftvärme eller från överskottsvärme från biodrivmedelsproduktion.

Ett nytt steg i energiforskningen

Energiforsk är en forsknings- och kunskapsorganisation som samlar stora delar av svensk forskning och utveckling om energi. Målet är att öka effektivitet och nyttiggörande av resultat inför framtida utmaningar inom energiområdet. Vi verkar inom ett antal forskningsområden, och tar fram kunskap om resurseffektiv energi i ett helhetsperspektiv – från källan, via omvandling och överföring till användning av energin. www.energiforsk.se