



Sveriges lantbruksuniversitet  
Swedish University of Agricultural Sciences

Institutionen för energi och teknik

# Förutsättningar för ökad biodrivmedelsproduktion i östra Mellansverige

*Conditions for increased production of biofuels in East  
Middle Sweden*

Anna Lundgren



# Förutsättningar för ökad biodrivmedelsproduktion i östra Mellansverige

Conditions for increased production of biofuels in East Middle Sweden

*Anna Lundgren*

**Handledare:** Björn Isaksson, Biogas öst

**Ämnesgranskare:** Gunnar Larsson, institutionen för energi och teknik, SLU

**Examinator:** Åke Nordberg, institutionen för energi och teknik, SLU

**Omfattning:** 30 hp

**Nivå, fördjupning och ämne:** Avancerad nivå, A2E, teknik

**Kurstitel:** Examensarbete i energisystem

**Kurskod:** EX0724

**Program/utbildning:** Civilingenjörsprogrammet i energisystem 300 hp

**Utgivningsort:** Uppsala

**Utgivningsår:** 2018

**Serietitel:** Examensarbete (Institutionen för energi och teknik, SLU)

**Delnummer i serien:** 2018:02

**ISSN:** 1654-9392

**Elektronisk publicering:** <http://stud.epsilon.slu.se>

**Nyckelord:** regional tillväxt, samhällsekonomiska effekter, bruttoregionalprodukt, synergi, vätgas, biomassapotentia

Sveriges lantbruksuniversitet  
Swedish University of Agricultural Sciences

Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap  
Institutionen för energi och teknik



## Abstract

The purpose of this master thesis was to investigate the conditions for an increased production of rape methyl ester (RME), ethanol and biogas in co-production with the industry with the aim of increasing the regional growth in the county of Uppsala, Södermanland and Västmanland. 900 000 inhabitants live in these counties. An optimization based on linear programming was used to determine the design of the fuel production with respect to different parameters: amount of fuel, energy efficiency, cost-effectiveness and regional growth. The optimization was divided into two models where the first model excluded co-production and the second model included co-production. The model calculated optimal allocations of agricultural land for growth of rape seed, wheat and grass for production of RME, ethanol and biogas under various conditions.

The result showed that biogas is the best fuel in all optimizations except in the optimization of profit. Ethanol is produced when the profit of the production is optimized. RME is not produced in any of the five optimizations. In contrast to ethanol and RME, biogas can be produced from different waste products which don't require agricultural land. The addition of hydrogen to the biogas process is the synergy which affects the fuel production the most. Hydrogen can be produced through electrolysis with electricity from a combined heat and power plant and this synergy increases the biogas produced from 2,4 TWh in the first model to 2,9 TWh in the second model. Furthermore, the production of biogas contributes to an increase of the gross regional product with 3,5 billion Swedish kronor and 2 300 job opportunities. Also, because of decreased emissions when replacing fossil fuels with biofuels, the national economic cost decreases 0,7 billion Swedish kronor.

It is concluded that a public actor will always benefit from producing biofuels instead of buying fossil fuels. To receive the positive impacts of biogas production such as efficient use of energy, increased gross regional product and decreased national economic costs, new and/or changed economic means are required for biogas to be the best fuel when it comes to profit of the production plant.



## Populärvetenskaplig sammanfattning

En omställning till ett förnybart samhälle är viktigt av många anledningar. Klimat- och miljöpåverkan samt användning av ändliga resurser är några problem som kan lösas med hjälp av förnybara energikällor. Då transportsektorn använder störst andel fossil energi bör denna prioriteras i vägen mot fossilfrihet och drivmedel baserade på förnybara råvaror är därmed ett viktigt steg i denna utveckling. Dessa drivmedel kan dessutom bidra till regional tillväxt i Sveriges län.

Detta arbete visar att biogas kan komma att spela en viktig roll på drivmedelsmarknaden. Att odla vall för att producera biogas ger störst mängd drivmedel per åkerareal i förhållande till att odla vete för etanolproduktion eller raps för RME-produktion. Dessutom kan biogasproduktion baseras på restprodukter, vilka alltså inte kräver en viss areal. Dessa typer av drivmedel främjas även i förnybartdirektivet (2009/28/EG). Vall används inte för biogasproduktion i någon större utsträckning idag men forskning visar att bättre förbehandlings tekniker kan förbättra dess egenskaper som råvara i biogasprocessen. Att tillsätta vätgas i biogasprocessen är ett energieffektivt sätt att öka biogasproduktionen ytterligare och totalt sätt kan då 2,9 TWh biogas produceras i Uppsala, Södermanlands och Västmanlands län. Detta motsvarar ungefär 20 procent av den uppskattade biogaspotentialen i Sverige 2030.

Förutom att minska beroendet av fossila drivmedel har biogas även en positiv påverkan på den regionala tillväxten. Genom att producera 2,9 TWh biogas genereras ungefär 2 300 arbetstillfällen och bruttoregionalprodukten (BRP) ökar med 3,5 miljarder kronor. Detta motsvarar totalt en ökning om ungefär 1 % av BRP i Uppsala, Södermanlands och Västmanlands län. Vidare genereras andra samhällsnyttor så som minskade utsläpp av växthusgaser och föroreningar som ger minskade samhällsekonomiska kostnader om 0,7 miljarder kronor. Den direkta vinsten vid denna drivmedelsproduktion är i storleksordning en tiondel av ökningen av BRP. Därmed är det alltid fördelaktigt för offentliga aktörer att byta fossilt drivmedel till biodrivmedel, sett till regional tillväxt och samhällsekonomiska besparingar.

Etanol är dock mer kostnadseffektivt än biogas då marginalen mellan intäkter och kostnader är störst för detta drivmedel. Råvarukostnader för biogasproduktion är ofta låga men höga kostnader för tillverkningsprocessen av drivmedlet samt låga intäkter för restprodukter gör att dess kostnadseffektivitet förblir låg. För att erhålla biogasens positiva effekter relaterade till energi, BRP och samhällsekonomi krävs nya och/eller förändrade styrmedel för detta drivmedel.

Syftet med studien var att undersöka potentialen för ökad produktion av rapsmetylester (RME), etanol och biogas i synergi med industrin för att öka den regionala tillväxten. Studien genomfördes genom att utreda potentialen för

biomassa i Uppsala, Södermanlands och Västmanlands län för att därefter fördela dessa råvaror med hjälp av en optimering baserad på linjärprogrammering. I optimeringen maximerades mängden drivmedel, energi, kostnadseffektivitet respektive regional tillväxt. Optimeringen delades upp i två modeller, där den första delen exkluderade synergier med industrin och den andra inkluderade synergier.

Resultatet visade att det finns flera positiva effekter av produktion av biogas och dessutom finns en stor outnyttjad potential av råvaror i de undersökta länen. Skulle studien inkluderat flera län skulle ytterligare drivmedelspotential med relaterade regionala nyttor kunna identifieras vilket ger medel för att påskynda omställningen till en fossilfri svensk transportsektor.

I framtida studier bör ytterligare samhällsnyttor undersökas, så som potentialen för minskat buller vid användning av de olika drivmedlen. Dessutom bör möjligheten till ökad försörjningstrygghet och ökad återföring av näringsämnen till odlingsmarker undersökas för att få en helhetsbild av alla samhällsekonomiska effekter.

Resultatet av detta arbete är dock ett bevis på att förnybara drivmedel har flera samhällsnyttor förutom att de bidrar med en minskad användning av fossila drivmedel. Detta bör tas i beaktande vid planering av en framtida transportsektor för att erhålla de positiva effekter som kommer av regional produktion av drivmedel.



## Exekutiv sammanfattning

Produktion och användning av förnybara drivmedel kan, förutom att minska utsläppen av växthusgaser, även bidra med andra samhällsnyttor. Dessa drivmedel produceras ofta regionalt och kan därmed medföra en ökning av den regionala tillväxten. Syftet med denna studie var att utreda förutsättningarna för en ökad produktion av drivmedlen rapsmetylester (RME), etanol och biogas i synergi med industrin i syfte att öka den regionala tillväxten i Uppsala, Södermanlands och Västmanlands län.

Biomassapotentialet för produktion av drivmedel i de tre länen sammanställdes för att optimera drivmedelsproduktionen med hjälp av linjärprogrammering. Syftet med optimeringen var att bestämma hur drivmedelsproduktionen skulle utformas med avseende på olika parametrar: maximal mängd drivmedel, nettoenergi, kostnadseffektivitet samt regional tillväxt. Optimeringen delades upp i två modeller där den första optimerade utan synergier med industrin och den andra med synergier. De synergier som identifierades var försäljning av spillvärme från etanolprocessen, rötning av drank och rapsmjöl samt produktion av vätgas med el från kraftvärme för tillsats i biogasprocessen. I båda modellerna allokerades en uppskattad, total odlingsareal i de tre länen för att odla antingen raps, vete eller vall för produktion av RME, etanol respektive biogas.

Resultatet visade att biogas presterar bäst i alla optimeringar förutom vid maximering av direkt vinst. Etanol produceras vid optimering av direkt vinst, vilket beror på att marginalen mellan intäkter och kostnader är som störst för detta drivmedel. RME producerades inte i någon av de fem optimeringarna. Vätgas var den synergi som hade störst påverkan på mängden drivmedel och ökade producerad mängd biogas från 2,4 TWh i första modellen till 2,9 TWh i andra modellen. Biogas bidrog dessutom till en ökning av bruttoregionalprodukten (BRP) med maximalt 3,5 miljarder kronor och 2 300 arbetstillfällen samt en minskning av de samhällsekonomiska kostnaderna med 0,7 miljarder kronor. Direkt vinst motsvarade ungefär en tiondel av ökningen i BRP och denna är starkt beroende av styrmedel. Det står klart att det är lönsamt för en offentlig aktör att producera och använda biodrivmedel istället för att använda fossila drivmedel. För att erhålla biogasens positiva effekter relaterade till effektivt nyttjande av energi, BRP och samhällsekonomiska besparingar krävs nya och/eller förändrade styrmedel så att detta drivmedel även ger störst ekonomisk vinst i produktionen.

## Förord

Detta examensarbete avslutar Civilingenjörsprogrammet i Energisystem som läses på Uppsala Universitet och Sveriges lantbruksuniversitet. Arbetet har skrivits på SLU i samarbete med Biogas Öst och omfattar 30 högskolepoäng.

Jag vill rikta ett stort tack till Biogas Öst och speciellt tack till min handledare, Björn Isaksson, för det stöd han bidragit med under arbetet och hjälp med att få de stora problemen att verka mindre komplexa. Jag vill även passa på att tacka min handledare på SLU, Gunnar Larsson, för hans snabba korrespondens när jag behövt återkoppling och hans hjälp med att avgränsa arbetet för att det ska motsvara kursens omfattning.

Ett stort tack även till nära och kära som funnits till hands för att bolla idéer och korrekturläsa under arbetets gång. Till sist: tack till alla som förgyllt min tid som student i Uppsala. Jag hoppas att vi ses snart igen när jag nu tar det stora steget ut i arbetslivet.

Anna Lundgren

Uppsala, januari 2018.

## Förkortningar och begrepp

Biodiesel	Drivmedel med liknande egenskaper som fossil diesel fast från biologisk råvara
Biogas	Uppgraderad biogas med fordonsbränslekvalitet
Biomassapotential	Den totala mängden biomassa som uppskattningsvis kan tas ut. Innefattar befintligt uttag.
Biprodukt	En produkt från en process som har ett lägre värde än huvudprodukten
BRP	Bruttoregionalprodukt, motsvarigheten till BNP i en region
B100	Drivmedel bestående av 100 procent biodiesel
Drank	Biprodukt vid etanoltillverkning
Drivmedel	Drivmedel för personbil, buss och lastbil
ED95	Drivmedel med 95 procent etanol och resterande mängd bestående av tändförbättrare, smörjmedel och korrosionsskydd
E85	Drivmedel med upp till 85 procent etanol och med resterande mängd bensin
FAME	Fatty Methyl Esther, kallas också biodiesel

Grot	Grenar och toppar från skogsavverkning
HVO	Hydrerad vegetabilisk olja, kallas också biodiesel
IS	Industriell symbios
Omvandlingseffektivitet	Hur mycket av energin i en råvara som omvandlas till energi i det färdiga drivmedlet under drivmedelsprocessen
Presskaka	Biomassa som blir kvar vid utvinning av olja ur växter
Region	Län
Restprodukt	En lågvärdig produkt från en process
RME	Rape methyl ester, biodiesel av raps
Rågas	Gas från rötchammare som ej uppgraderats
Rörest	Bildas som restprodukt vid rötning av biomassa
Substrat	Ingående råvara i biogasprocessen
Synergi	Utbyte av produkter mellan industrier
Tillförd energi	Energi som tillförs för att producera drivmedel. Innefattar exempelvis drivmedel för att bruka marken vid odling av råvara, samt värme och elektricitet
Tillväxt	Förändring i ekonomisk omsättning
TS	Torrsubstans, den mängd som finns kvar i en råvara när vattnet förångats
Uppgradering	Den process som gör att biogas erhåller fordonsbränslekvalitet
Växtmjöl	Genereras vid kemisk oljeutvinning från växter. Begreppet antas innefatta även presskaka

# Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>Inledning</b>	<b>1</b>
1.1	Syfte och frågeställningar	2
1.2	Genomförande	3
1.3	Avgränsningar	3
1.4	Disposition	5
<b>2</b>	<b>Teori</b>	<b>6</b>
2.1	Energi	6
2.2	Kostnadseffektivitet	7
2.3	Regional tillväxt och samhällsnyttor	7
2.4	Linjärprogrammering	10
2.5	Befintliga tekniker	11
2.6	Drivmedelsproduktion i synergi med industri	18
2.7	Dagens drivmedels- och kraftvärmeproduktion	22
<b>3</b>	<b>Teknisk biomassapotentia</b>	<b>25</b>
3.1	Organiskt avfall	28
3.2	Åkerbränslen	29
3.3	Halm	30
3.4	Övriga odlingsrester	31
3.5	Gödsel	32
3.6	Slam	33
3.7	Brännbart avfall	34
3.8	Primära skogsbränslen	35
3.9	Rester från skogsindustrin	36
<b>4</b>	<b>Metod</b>	<b>37</b>
4.1	Beräkning av energi	37
4.2	Beräkning av kostnadseffektivitet	38
4.3	Beräkning av regional tillväxt	38
4.4	Beräkningar relaterade till synergieffekter	40
4.5	Linjärprogrammering	43
4.6	Bakgrund till data	44
4.7	Data för energi	46
4.8	Data för kostnadseffektivitet	49

4.9	Data för regional tillväxt	52
4.10	Känslighetsanalys	60
<b>5</b>	<b>Resultat</b>	<b>61</b>
5.1	Jämförelse per hektar	62
5.2	Producerat drivmedel	65
5.3	Nettoenergi	67
5.4	Direkt vinst	69
5.5	BRP	71
5.6	Samhällsekonomiska effekter	74
5.7	Känslighetsanalys	75
<b>6</b>	<b>Diskussion</b>	<b>80</b>
6.1	Drivmedelsproduktion och energi	80
6.2	Direkt vinst	84
6.3	BRP och samhällsekonomiska effekter	86
6.4	Framtida studier	89
<b>7</b>	<b>Slutsatser</b>	<b>91</b>
	<b>Referenslista</b>	<b>93</b>
	<b>Appendix 1 - Energidata</b>	<b>105</b>
	<b>Appendix 2 - Kostnader och priser</b>	<b>106</b>
	<b>Appendix 3 - Utsläpp</b>	<b>107</b>

# 1 Inledning

En omställning till ett förnybart samhälle är viktigt av många anledningar. Klimat- och miljöpåverkan samt användning av ändliga resurser är några problem som kan lösas med hjälp av förnybara energikällor. Energianvändningen inom transportsektorn har ökat de senaste åren och 2016 stod denna för en fjärdedel av energianvändningen i Sverige. Av de transporter som går på väg var andelen fossila drivmedel 81 procent 2016 (Energimyndigheten, 2017a). Det är därmed tydligt att en omställning till förnybar energi för transporter på väg kan göra en stor skillnad.

Människan tenderar att distansera sig till globala problem som inte direkt rör den egna individen. Ett exempel på detta benämns i en artikel som ”The psychological distance of climate change” (Spence, et al., 2012, p. 957). Att visa att det går att motverka de globala problemen även på individnivå kan ge en ökad handlingskraft och vilja att agera för förändring. Detta motiverar att belysa kopplingen mellan de globala problemen och möjliga åtgärder som kan genomföras på individnivå. Det finns dessutom en tydlig koppling mellan regionala klimat- och energistrategier och främjad innovation, sysselsättning och tillväxt i den egna regionen (Regeringskansliet, 2015). Sverige är ett av de europeiska länderna med störst andel flytande biodrivmedel i transportsektorn och användningen av biogas är även relativt hög. Trots detta visar de senaste årens utveckling att den främsta ökningen av biodrivmedel inom vägsektorn kan härledas till importerade drivmedel (Energimyndigheten, 2016a), detta fastän Sverige är ett land med mycket skog och outnyttjade arealer med förutsättningar för inhemsk produktion. Med denna bakgrund kan konstateras att det är motiverat att öka användningen av förnybar energi inom den egna regionen eller länet, dels för att skynda på omställningen till ett förnybart samhälle men också för att öka den regionala tillväxten. Transportsektorn bör prioriteras då denna har störst andel fossil energi (Energimyndigheten, 2017b).

För att förnybara drivmedel ska vara ekonomiskt hållbara produceras dessa ofta nära råvarukällan vilket medför att produktionen sker i mindre skala och därmed ofta närmare slutanvändaren (SOU, 2007). En avvägning måste dock göras mellan de lägre produktionskostnader som erhålls vid större anläggningar och de ökade transportkostnaderna som då uppstår (Bernesson, et al., 2004b). Produktion av förnybara drivmedel genererar ofta en restprodukt vilken kan användas inom industrin för tillverkning av miljövänliga produkter. Även industrin genererar restprodukter som vidare kan utnyttjas vid tillverkning av drivmedel (Martin & Eklund, 2011). Detta motiverar att utreda hur ett samarbete mellan befintliga och nya industrier och drivmedelsproducenter skulle kunna utformas. En ökad regional drivmedelsproduktion kan vidare leda till en ökad regional tillväxt eftersom omsättningen sker i det egna länet (Biogas Öst, 2017a).

Med bakgrund av detta är det motiverat att undersöka förutsättningarna för en ökad biodrivmedelsproduktion i synergi med industrin i syfte att öka den regionala tillväxten och bidra till en högre andel förnybar energi inom den svenska transportsektorn.

## 1.1 Syfte och frågeställningar

Syftet med arbetet är att utreda potentialen för biomassa i Uppsala, Södermanlands och Västmanlands län och avgöra hur en optimal produktion av idag befintliga biodrivmedel bör utformas i synergi med befintliga och/eller nya industrier för att öka den regionala utvecklingen. Målet med arbetet är att öka den förnybara drivmedelsproduktionen i regionen och därmed även öka den regionala tillväxten. Biomassapotentialet avser biomassa som kan tas ut och nyttjas inom 5 till 10 år. Följande frågor kommer att besvaras i arbetet för att uppnå syfte och mål:

1. Hur stor är den tekniska biomassapotentialet för biodrivmedel och kraftvärme i länen?
2. Vad har olika drivmedel för energi- och kostnadseffektivitet på kort respektive lång sikt?
3. Hur stor är potentialen för produktion av förnybara drivmedel i länen?
4. Vad finns det för möjligheter till synergier med befintliga/nya offentliga industrier?
5. Hur påverkas omsättningen i regionen om förnybart, regionalt tillverkat drivmedel ersätter fossilt drivmedel?
6. Vad finns det för motsättningar mellan nettoenergi och kostnadseffektivitet?



7. Finns det negativa effekter av de beroenden som uppstår vid samproduktion med industrin?

## 1.2 Genomförande

I detta arbete utformades en linjärprogrammeringsmodell för att optimera biodrivmedelsproduktionen i tre län. Den tekniska potentialen för uttag av biomassa togs fram och användes som indata i modellen. Möjlig drivmedelsproduktion, tillförd energi och drivmedlens intäkter och kostnader baserat på tillgänglig biomassa beräknades. Den regionala tillväxten togs fram genom att beräkna bruttoregionalprodukt samt samhällsekonomiska effekter till följd av ändrade utsläpp. De drivmedel som saknade tillräckliga tillförlitliga data uteslöts. Modellen delades in i två delar: en med och en utan synergieffekter. Vidare optimerades drivmedelsproduktionen och biomassan fördelades på respektive drivmedel. Optimeringen genomfördes med avseende på bruttoregionalprodukt, samhällsekonomiska effekter, producerat drivmedel, tillförd energi samt kostnadseffektivitet. Syftet med de två senare optimeringarna var dels att undersöka hur synergi med industrier påverkar dessa parametrar, dels för att se hur regionala tillväxten påverkas vid dessa optimeringar.

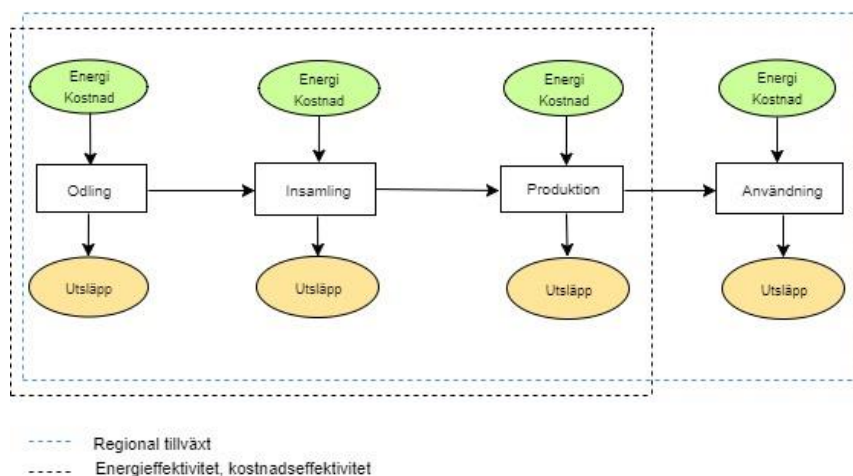
## 1.3 Avgränsningar

I studien ingick de drivmedel som produceras kommersiellt från förnybara källor idag, det vill säga biogas, RME, etanol. Därmed undersöktes inte DME eller metanol då de ännu inte är kommersiella. För att begränsa arbetet omfattades el inte heller av studien. Vätgas undersöktes som en komponent för produktion av övriga studerade drivmedel snarare än för användning direkt som drivmedel i fordon. Vad gäller biomassapotentiaL begränsades detta arbete till att fokusera på teknisk tillgänglig biomassa för biodrivmedelsproduktion. Därmed beaktades inte miljömässiga eller ekonomiska begränsningar för alla råvaror vid framtagning av biomassapotentiaL. I de fall andra begränsningar än tekniska beaktades presenteras dessa i respektive avsnitt. Att biomassa kan transporteras över länsgränser var inte heller något som beaktades.

Vid beräkning av energi i processen och kostnadseffektivitet innefattade systemet odling (för de råvaror som kräver mark), insamling av biomassa och produktion av drivmedel. Vid beräkning av regional tillväxt jämfördes dessutom klimat- och miljöeffekter då biodrivmedel ersätter fossila drivmedel i fordon. Systemgränserna illustreras i

*Figur 1.* Regional tillväxt delades upp i påverkan på BRP samt samhällsekonomiska effekter. De samhällsekonomiska effekterna begränsades till klimat- och miljöpåverkan. Antagandet gjordes även att omställningen kommer ta ett antal år (5-10 år) för etablering av nya anläggningar och förändringar inom befintliga system. Efter litteraturstudie och inledande beräkningar uteslöts de drivmedel som saknade tillförlitliga data och dessa simulerades därmed inte i modellen.

Vad gäller synergi med industrin inkluderades endast offentliga aktörer och inte privata. Anledningen till detta var att offentliga aktörer antogs vara stabila kunder med en verksamhet grundad på långsiktiga investeringar. I framtida studier kan frågeställningen i detta projekt även appliceras på privata industrier. Offentliga industrier begränsades till kraftvärmeverk där vätgas genereras genom elektrolys, med syftet att öka verkningsgraden i biogasprocessen.



*Figur 1.* Systemgränser vid de olika optimeringarna.

## 1.4 Disposition

Rapporten inleds med kapitel 2, Teori, där relevanta begrepp så som energi, kostnadseffektivitet, regional tillväxt och linjärprogrammering presenteras. Därefter görs en sammanställning av de befintliga tekniker som finns för produktion av drivmedel. Avsnittet innefattar även möjlig symbios mellan drivmedelsindustrier och med offentliga industrier. I avsnittet besvaras frågeställning 4. I kapitel 3, Teknisk biomassapotentia, besvaras frågeställning 1. Under kapitel 4, Metod, redogörs för data och tillvägagångssätt både för beräkningar av drivmedelsproduktion, kostnadseffektivitet, tillförd energi till systemet och regional tillväxt. Även en beskrivning av optimeringsmodellen presenteras i detta avsnitt. Under kapitel 5, Resultat, presenteras utfallet av de olika optimeringarna och känslighetsanalysen. Under Resultat besvaras frågeställning 2 delvis samt frågeställning 3, 5 och 6. Under kapitel 6, Diskussion, analyseras resultatet, frågeställning 7 besvaras och ett resonemang förs om tidsperspektivet i frågeställning 2. Detta avsnitt innefattar även förslag för framtida studier. Under kapitel 7, Slutsats, summeras svaren på frågeställningarna tillsammans med de viktigaste insikterna av resultat och diskussion.

## 2 Teori

I teori-avsnittet presenteras de tidigare studier inom området som ligger till grund för metoden i detta arbete. Teorin inleds med avsnitten energi, kostnadseffektivitet, regional tillväxt och linjärprogrammering. Därefter presenteras befintliga tekniker för drivmedelsproduktion tillsammans med en beskrivning av kraftvärme, vilken är den största offentliga industrin i länen. Vidare presenteras möjligheter för drivmedelsproduktion i synergi med industri samt dagens drivmedels- och kraftvärmeproduktion. I detta avsnitt besvaras frågeställning 4: *Vad finns det för möjligheter till synergier med befintliga/nya offentliga industrier?*

### 2.1 Energi

Energieffektiviteten ger en översikt över den tillförda energin i förhållande till den utgående energin, exkluderat energin som finns i ingående biomassa (Börjesson, et al., 2013). Detta kan uttryckas som en kvot mellan drivmedelsutbyte och tillförd hjälpenergi eller vice versa (Börjesson, et al., 2010). För att analysera ett system ur energiperspektiv är även omvandlingseffektiviteten i en drivmedelsprocess intressant. Denna anger hur stor del av energin i den ingående biomassan som omvandlas till drivmedel (Börjesson, et al., 2010; Börjesson, et al., 2013).

Energibalansen benämns ofta synonymt med energieffektivitet (Börjesson, et al., 2013). Energibalans är en analys av tillförd och utgående energi i ett system. För att bestämma dessa används termodynamikens första lag vilken innebär att energi varken kan skapas eller förstöras utan endast kan omvandlas till olika former (Nationalencyklopedin, u.d.).

## 2.2 Kostnadseffektivitet

Att beräkna kostnadseffektivitet eller att göra en lönsamhetskalkyl syftar till att undersöka hur ett drivmedel presterar ekonomiskt. I en företagsekonomisk lönsamhetskalkyl jämförs intäkter mot kostnader för att kunna bedöma en verksamhets lönsamhet (Bångman, 2012). I tidigare studier om biodrivmedel har produktionskostnader undersökts. I dessa omfattas exempelvis råvarukostnader, investeringskostnader samt kostnader för själva produktionsprocessen (Benjaminsson & Linné, 2007; Nilsson, 2006). Andra har relaterat produktionskostnaden till försäljningspriset av drivmedel och eventuella biprodukter för att exempelvis fastställa vilka stödnivåer som krävs för att täcka skillnaden mellan intäkt och kostnad (Björnsson & Lantz, 2013; Vestman, et al., 2014). Energimyndigheten gör varje år en utredning av kostnader och priser för biodrivmedel för att undersöka ifall skattereduktionerna för biodrivmedel leder till överkompensering (Energimyndigheten, 2017e). I detta avseende används produktionskostnader som ett mått för hur styrmedel ska utformas.

## 2.3 Regional tillväxt och samhällsnyttor

Det finns flera möjliga nyttor vid användning av biodrivmedel. Följande avsnitt beskriver begreppet tillväxt och hur det kopplar till tidigare studier om biodrivmedel. Därefter diskuteras möjliga samhällsnyttor och hur dessa kan värderas ekonomiskt.

### 2.3.1 Tillväxt

Tillväxt är ett vitt begrepp som kan definieras på olika sätt. Det vanligaste är att likställa tillväxt med produktionsökning, vilken i sin tur kan förändras antingen genom att resurserna ökar eller genom att resurserna utnyttjas mer effektivt. För att mäta tillväxt används ofta begreppet bruttonationalprodukt (BNP), eller bruttoregionalprodukt (BRP), vilket är motsvarigheten till BNP i en region (Statistiska centralbyrån, 2005). Region i detta arbete definieras som län. BRP kan beräknas på tre olika sätt. Det summerade värdet av producerade varor och tjänster är ett sätt, där förädlingsvärdet fås genom att subtrahera inköpta varor och tjänster. Att summera hushållens totala konsumtion ett annat sätt att beräkna BRP. Ett tredje sätt är att summera löner och vinster för individer inom en viss region (Sundgren, 1998). Om BRP mäts från produktionssidan är det förädlingsvärdet för en bransch som mäts och detta kan beräknas enligt Ekvation 1. Produktivitet är ett mått på hur väl resurser utnyttjas för ett visst ändamål - alltså hur effektiv produktionen är. I Ekvation 1 antas att arbetstiden för varje sysselsatt är konstant (Statistiska centralbyrån, 2005).

$$BRP = S \cdot P \quad (1.)$$

där S är antal sysselsatta och P är arbetsproduktiviteten [SEK/sysselsatt].

Arbetsproduktiviteten skiljer sig mellan olika branscher. I en verksamhet med stora investeringar och få sysselsatta är ofta arbetsproduktiviteten högre för att kompensera för kapitalintensiteten. På liknande sätt är arbetsproduktiviteten ofta lägre i verksamheter med lägre insatt kapital och fler sysselsatta (Statistiska centralbyrån, 2005). Drivmedelsproduktion är en typisk verksamhet med få antal sysselsatta med hög arbetsproduktivet (Waluszewski, et al., 2011).

Produktion av biodrivmedel kan ha en positiv påverkan på den regionala tillväxten. Biogas har visats bidra till en ökning BRP på grund av att produktion och konsumtion sker lokalt eller regionalt och genererar arbetstillfällen vid insamling, produktion och distribution av drivmedlet (Anderson, et al., 2016; Energimyndigheten, 2010). I en utredning redovisas att en producerad mängd om en GWh biogas genererar ett arbetstillfälle per år vilket motsvarar 1–2 miljoner kronor i ökad BRP (Waluszewski, et al., 2011). Liknande resultat erhålls i andra rapporter där intervall om 0,6–1,8 arbetstillfällen per producerad GWh redovisas (Energimyndigheten, 2010; Region Skåne, 2012; Tufvesson, et al., 2013).

Liknande utredningar för andra drivmedel är fåtaliga. En studie från Österrike visar på en minskad långsiktig regional nytta för ökad odling av raps och produktion av RME, med avseende på arbetstillfällen och BRP. Detta beror främst på att energi-grödor, så som till exempel raps, kräver mindre arbetskraft än konventionellt jordbruk (Trink, et al., 2010). Markens användningsområde är en påverkande faktor vad gäller drivmedelsproduktionens inverkan på den regionala tillväxten. Om redan utnyttjad mark ställs om till exempelvis energi-grödor, minskar sysselsättningen vid produktion av råvara. Om däremot träda (åkermark i vila) eller annan outnyttjad mark uppodlas för produktion av energi-grödor ökar sysselsättningsgraden (SOU, 2007). Att uppodlad mark användes i studien från Österrike kan alltså vara en anledning till det negativa resultatet för RME.

Sysselsättningseffekter för etanol undersöktes i en studie av Länsstyrelsen i Blekinge där direkta och indirekta arbetstillfällen uppgick till ungefär 0,5 arbetstillfällen per producerad GWh etanol. Denna etanolproduktion baserades främst på sockerbeter och de arbetstillfällen som undersöktes var endast relaterade till odling av råvara samt produktion av drivmedel i etanolfabriken (Nilsson, 2006).

Även produktion av vätgas kan bidra till ökad andel arbetstillfällen och därmed ökad tillväxt. De områden där arbetstillfällen skapas är bland annat inom gasbolag, fordonsleverantörer, elbolag, raffinaderier och skogs- och massaindustri. En ökning av arbetstillfällen om 0,2 till 0,37 procent uppskattas i USA år 2050 till följd av implementering av vätgas och infrastrukturen relaterad till denna. I en annan utredning från projektet HyWays i Europa ökade antalet arbetstillfällen till mellan -0,6 procent och 0,5 procent baserat på år 2030 (Wallmark, et al., 2014). Andelen arbetstillfällen relaterade till vätgasproduktion och bränsleceller kan vara något högre än de kopplade till vätgasproduktion och implementering av power-to-gas, detta då bränsleceller kräver helt ny infrastruktur.

### 2.3.2 Samhällsekonomiska nyttor

Att mäta kostnadseffektivitet eller att göra en företagsekonomisk lönsamhetskalkyl innefattar, enligt tidigare resonemang, att jämföra intäkter mot kostnader för att bedöma lönsamheten i en verksamhet. Att göra en samhällsekonomisk lönsamhetskalkyl handlar däremot om att väga in de totala ekonomiska effekterna för medborgarna i samhället eller i en region. För detta utnyttjas ofta en kostnadsnyttoanalys vars syfte är att bedöma en åtgärds nyttor och kostnader relativt ett referensscenario. Om en åtgärd är samhällsekonomiskt lönsam innebär detta att den bidrar till den samhällsekonomiska effektiviteten. Denna mäter hur effektivt samhällets resurser används för att tillgodose medborgarnas önskemål (Bångman, 2012).

Den samhällsekonomiska nyttan baseras på att alla resurser har ett pris. På en perfekt marknad har alla resurser ett pris, total konkurrens råder och konsumenter har all information de behöver för att göra medvetna val. En perfekt marknad existerar inte och olika så kallade marknadsmisslyckanden gör att marknaden kan kräva reglering av en offentlig sektor. Ett exempel på marknadsmisslyckande är externa effekter. Dessa effekter skapas till följd av en aktörs val där aktören själv inte påverkas. Den externa effekten påverkar dock en annan aktör, antingen positivt eller negativt. Exempel på negativa externa effekter är koldioxidutsläpp, buller och luftföroreningar. Vid en kostnadsnyttoanalys måste dessa effekter värderas monetärt för att kunna bedöma de totala effekterna av en åtgärd. En offentlig sektor kan vidare verka för att minimera negativa externa effekter genom exempelvis skatt. Detta medför att en aktör får betala för de negativa externa effekterna som denne orsakar (Bångman, 2012; Hjortsberg, 2017). För att göra en samhällsekonomisk kalkyl och värdera externa effekter används följande steg:

1. Definition och avgränsning av åtgärden
2. Identifiering och kvantifiering av relevanta effekter
3. Värdering i kronor (monetär värdering)
4. Diskontering av framtida nyttor och kostnader till ett nuvärde
5. Beräkning av nettonuvärde eller nettonuvärdeskvot
6. Känslighetsanalys (Bångman, 2012)

I Trafikverkets ”Analysmetod och samhällsekonomiska kalkylvärden för transportsektorn: ASEK 6.0” presenteras beräkningsmetoder och kalkylvärden för att göra ekonomiska värderingar av olika effekter vid åtgärder inom transportsektorn. Kalkylvärden baseras främst på medborgarnas betalningsvilja eller skattningar av denna (Trafikverket, 2016).

Tidigare jämförande studier av olika drivmedel där samhällsekonomiska effekter berörts har undersökt värdet av undvikna klimat- och miljöeffekter. Bland annat har klimatpåverkan, partikelutsläpp, kväveläckage, utsläpp av kolväten och kväveoxider och buller kvantifierats och värderats ekonomiskt (Hjort, et al., 2017; Nordström, 2015). För att göra en ekonomisk värdering har Trafikverkets bedömning av samhällsekonomiska kostnader för olika klimat- och miljöpåverkan (ASEK) använts (Hjort, et al., 2017; Region Skåne, 2012; Tufvesson, et al., 2013).

## 2.4 Linjärprogrammering

Linjärprogrammering har tidigare använts för optimera olika system där en viss mängd biomassa ska fördelas. Denna metod syftar till att maximera eller minimera en funktion med avseende på vissa begränsningar. Exempel på detta är maximering av vinst för att förse ett behov där begränsningarna är tillgång på biomassa, verkningsgrad eller andra kapacitetsbegränsningar (Freppaz, et al., 2004; Gonela & Zhang, 2014; Kim, et al., 2011).

Linjärprogrammeringsproblemet kan skrivas på standardform enligt nedan.

Maximera

$$Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n \quad (2.)$$

med bivillkoren

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \leq b_1 \quad (3.)$$



$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \leq b_2 \quad (4.)$$

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \leq b_m \quad (5.)$$

och

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, \dots, x_n \geq 0 \quad (6.)$$

Målfunktionen  $Z$  (Ekvation 2) kan maximeras, minimeras eller ansättas till ett fixt värde.  $a, b$  och  $c$  i ekvationerna ovan kallas parametrar. De första bivillkoren med parametrarna  $a_i$  i Ekvation 3, 4 och 5 benämns som *funktionella villkor* medan de sistnämnda i Ekvation 6 benämns *icke-negativa villkor*. En möjlig lösning är en lösning där alla villkor uppfylls. En icke godtagbar lösning erhålls så fort ett av villkoren inte uppfylls. Den optimala lösningen erhålls då värdet av målfunktionen  $Z$  är optimalt: alltså  $Z$  så stort som möjligt om  $Z$  maximeras och  $Z$  så litet som möjligt om  $Z$  minimeras. Det kan finnas fler möjliga lösningar, men oftast bara en optimal lösning (Hillier & Lieberman, 2010).

För att kunna utnyttja linjärprogrammering vid optimering krävs en del antaganden, vilka sammanfattas nedan.

- Målfunktionen  $Z$  måste vara *proportionell* mot  $x_j$  och de funktionella bivillkoren måste även vara proportionella mot  $b_j$ . Detta innebär kort sagt att alla parametrar endast kan ha en exponent lika med 1.
- Alla funktioner i modellen måste vara *additiva*. Detta innebär alltså att alla funktioner måste vara summer.
- Lösningsvariablerna  $c_1, c_2, \dots, c_n$  får anta vilket värde som helst och måste därmed inte vara heltal, såvida inte heltalsprogrammering används.
- Varje parameter i modellen måste vara en *känd konstant* (Hillier & Lieberman, 2010).

Linjärprogrammeringsproblem löses lättast med hjälp av ett beräkningsprogram såsom exempelvis Excel, där målfunktion och bivillkor är indata till *problemlösaren* (Hillier & Lieberman, 2010).

## 2.5 Befintliga tekniker

De processer som används för att konvertera biomassa till olika användbara produkter kan delas in i de fyra kategorierna: termokemiska, biokemiska, mekaniska och

kemiska processer. Förgasning och pyrolys hör till de termokemiska processerna medan jäsnings och rötning hör till de biokemiska. Sönderdelning och storleksreduering hör till mekaniska processer och hydrolys och transesterifiering till de kemiska. Eftersom detta arbete har fokuserat på RME, HVO (hydrerad vegetabilisk olja), biogas, etanol samt vätgas innefattar teknikerna biokemiska, mekaniska och kemiska processer (Cherubini, 2010). Biogas kan även produceras genom en termokemisk process, till exempel genom förgasning av biomassa (Sansaniwal, et al., 2017), men denna teknik omfattas inte av detta arbete. Följande avsnitt innehåller en kort beskrivning av respektive teknik, vilka råmaterial som krävs samt vilka produkter och biprodukter som produceras.

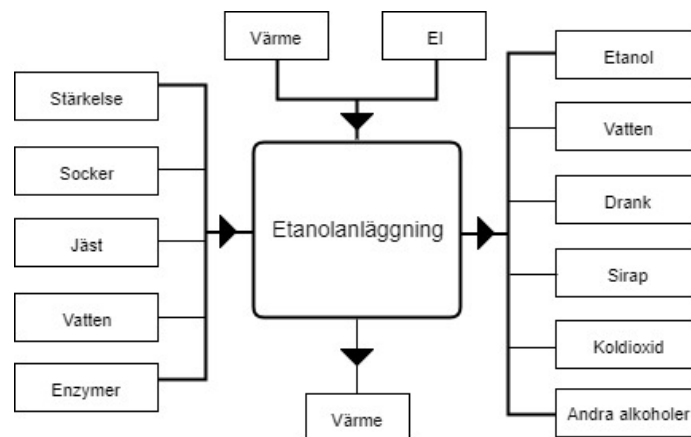
### 2.5.1 Etanol från jäsnings

I jäsningsprocessen används råvaror innehållande stärkelse och socker. I Sverige produceras etanol främst från spannmål (vete) men även lut från pappersmassaindustri används (Energimyndigheten, 2016a). Spannmålen mals till ett mjöl för att sedan blandas med vatten, vilket kallas likvifiering. Jäsningsprocessen innehåller flera steg där den förbehandlade råvaran först genomgår hydrolys där stärkelse och vatten reagerar i flera delprocesser för att bilda glukos. Därefter kan sockermassan, även kallad mäsik, jäsas tillsammans med jästsvampar för att bilda etanol. Sista steget i processen är att destillera etanolen för att uppnå en högre procenthalt: omkring 99,8 procent (Bernesson, 2004a; Hagberg, 2008; Paulsson, 2007).

Förutom etanol erhålls även drank och koldioxid. Drank är ojäst mäsik som inte omvandlats till etanol i jäsningsprocessen. Dranken torkas vanligtvis för att användas till djurfoder. Ånga krävs både vid jäsnings, destillering och torkning av dranken. Om dranken istället rötas krävs betydligt mindre insatsenergi för torkning (Bernesson, 2004a; Hagberg, 2008; Paulsson, 2007). Energin i spillvärmen motsvarar 22 procent av energin i den producerade etanolen och denna kan delas upp kategorierna i kondensat och kylvatten. Kondensatet håller en temperatur kring 100 °C och kan utnyttjas genom att föras tillbaka till fjärrvärmenätet. Kylvattnet håller ofta en temperatur omkring 40 °C och är därmed en lågvärdig biprodukt som inte kan föras ut direkt på fjärrvärmenätet utan att först uppgraderas genom en värmepump. Kondensatet motsvarar ungefär 6 % av energin i drivmedlet. Även koldioxid är en restprodukt vid etanolframställning (Börjesson, et al., 2010; Hagberg, 2008).

I *Figur 2* presenteras de insatsvaror som behövs i etanolprocessen samt de produkter och biprodukter som genereras. Det är en liten skillnad i energiinsats vid jämförelse av små och stora produktionsanläggningar vilket alltså innebär att etanol kan produceras i liten skala utan att förlora energirelaterade stordriftsfördelar (Bernesson,

et al., 2006). I Sverige är de största etanolproducenterna Lantmännen Agroetanol, Domsjö Fabriker och St1 (Energimyndigheten, 2016a).



Figur 2. Illustration av produkt- och energiflöden i etanolprocessen, illustrerad utifrån Martin & Eklund (2011).

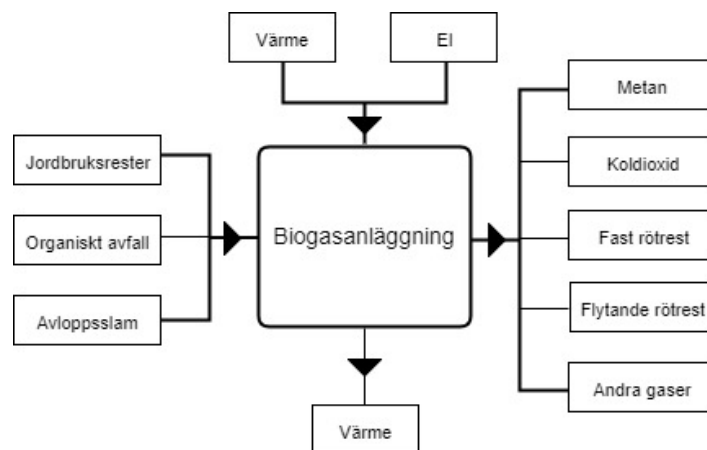
### 2.5.2 Biogas från rötning

Biogas produceras genom rötning av råmaterial innehållande kolhydrater, proteiner, fetter, cellulosa och hemicellulosa. Exempel på material som innehåller detta är jordbruksprodukter så som gödsel, slakteriavfall, vallgröda och halm. Andra substrat är organiskt avfall från hushåll och avloppsslam (Deublein & Steinhauser, 2011). Biogas kan även bildas naturligt i deponier och benämns då deponigas. Gasen leds då från deponin genom rör i marken och förbränns vanligtvis i anslutning till deponin (Biogas Öst, 2017c; Näslund, 2011). Innan rötning måste substratet ofta förbehandlas genom sönderdelning och separering av oönskat material. Om substratet innehåller animaliska biprodukter krävs dessutom upphettning till 70 °C i ett hygieniseringssteg. Röttningsprocessen innehåller därefter fyra processteg. I det första steget, hydrolys, bryts proteiner, kolhydrater och fetter ned till monomerer av exempelvis sockerarter, aminosyror och fettsyror. I steg två, syrabildning, bryts sockerarterna ned till kortare fettsyror, alkoholer och vätgas. Tredje steget är ättiksyrabildningen där anaeroba mikroorganismer bildar ättiksyra, koldioxid och vätgas. I det sista steget sker metanbildning genom att koldioxid och metan bildas under syrefria förhållanden av metanogena bakterier. Rötningen kan vara termofil (55 °C) eller mesofil (37 °C), där den sistnämnda är vanligast. I processen genereras även en rötrest vilken kan användas som gödselmedel på jordbruksmarker såvida

den inte innehåller farliga substanser från substratet (Avfall Sverige, 2013; Carlsson & Uldal, 2009; Deublein & Steinhauser, 2011; JTI, 2012; Näslund, 2011). Temperaturen av spillvärmens i processen uppgår till omkring 37 °C vid mesofil rötning (Berglund & Börjesson, 2003).

Användningsområden för biogasen är flera: den kan förbrännas för att generera värme och el eller uppgraderas till fordonsgas genom att avlägsna koldioxid. Vanligt är att uppgradera gasen till en andel om ungefär 97 % metan. Därefter kan gasen matas in i naturgasnätet eller distribueras till tankstation på flak (Avfall Sverige, 2013; Deublein & Steinhauser, 2011; Näslund, 2011). Den vanligaste metoden för uppgradering till fordonsgas är med vattenskrubber, där koldioxiden tvättas bort (Vestman, et al., 2014). I *Figur 3* illustreras insatsvarorna i biogasprocessen samt de genererade produkterna.

Biogas kan produceras i både små och stora anläggningar men uppgraderingsanläggningen har dock stora skalfördelar. För att det ska vara ekonomiskt hållbart att uppgradera gasen till fordonsgas krävs att flera mindre biogasanläggningar transporterar gasen till en gemensam uppgraderingsanläggning (Börjesson, et al., 2013; Christensson, et al., 2009). I Sverige finns drygt 280 biogasanläggningar (Klackenberg, 2017) och 63 procent av all producerad biogas år 2015 uppgraderades till fordonsgas (Energimyndigheten, 2016a).



*Figur 3.* Illustration av produkt- och energiflöden i biogasprocessen, illustrerad utifrån Martin & Eklund (2011).

### 2.5.3 Biodiesel från transesterifiering och vätebehandling

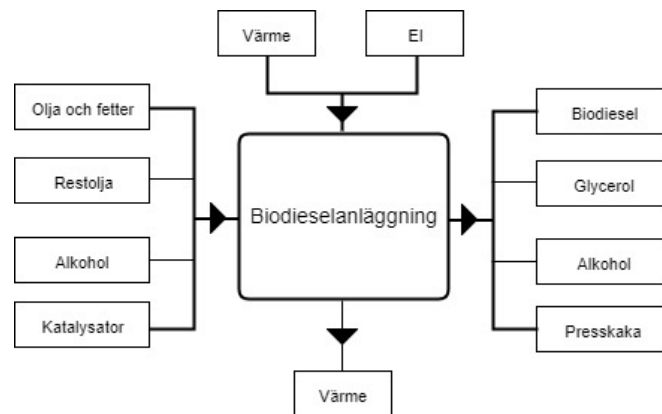
För produktion av biodiesel används vegetabilisk eller animalisk olja. Framställning av vegetabilisk olja sker genom pressning av råvaran varefter oljan extraheras, ofta med hjälp av ett lösningsmedel. Pressningen kan ske vid 20–80 °C där varmpressning är vanligast i större anläggningar. Vid oljeutvinningen genereras en presskaka vilken kan användas som djurfoder, rötas till biogas eller brännas för energiutvinning. Vid kemisk utvinning av oljan, vilket främst sker vid större anläggningar, genereras dessutom ett växtmjöl som kan nyttjas på liknande sätt. Vid pressning av rapsfrön benämns detta rapsmjöl (Gode, et al., 2007; JTI, 2007; JTI, 2011; Tufvesson & Lantz, 2012; Van Gerpen, 2005). Vidare i detta arbete innefattar begreppet rapsmjöl även presskaka.

FAME (fatty methyl esters) tillverkas genom transesterifiering av olja. När raps används som råvara benämns bränslet RME (rape methyl ester). Den FAME som används i Sverige kommer nästan uteslutande från rapsolja då denna diesel får egenskaper som passar vårt kalla klimat (Energimyndigheten, 2016a) Transesterifiering innebär att triglyceriden reagerar med alkohol samt en stark syra eller bas. Det som händer i reaktionen är att den organiska molekylens funktionella grupp övergår från en alkohol till en ester. Glycerol är en biprodukt från transesterifieringen (Van Gerpen, 2005) och kan användas till foder, förbrännas, rötas eller säljas till kemiindustrin (Bernesson, 2007). RME används främst som låginblandning i konventionell diesel (Energimyndigheten, 2016a).

HVO står för ”hydrerad vegetabilisk olja”, men kan tillverkas av både vegetabilisk och animalisk olja. I Sverige var den största andelen av såld HVO år 2016 producerad av vegetabilisk och animalisk avfallsolja samt slakteriavfall. Resten av råvarorna fördelades på kategorierna palmolja, råttolja och rapsolja (Energimyndigheten, 2016a). Av den producerade mängden HVO i Sverige dominerar dock råttolja (f3centre, 2016). Det viktigaste steget vid produktion av HVO är vätebehandling. I processen omvandlas triglycerid och väte till paraffiner, propan, koldioxid och vatten. I steget därefter sker isomerisering vilket innebär att paraffinet ändrar sin isomeriska form och omvandlas till ett bränsle med liknande fysikaliska egenskaper som diesel. HVO kan antingen användas i vanliga dieselmotorer eller blandas in i vanlig diesel (Arvidsson, et al., 2011).

I *Figur 4* presenteras biodieselprocessens gemensamma ingående råvaror och utgående produkter. Vätgas är dessutom en viktig insatsvara i processen för HVO och denna utvinns ofta ur fossila energikällor. Även ånga är en viktig ingående råvara

(Larsson, 2015; Nikander, 2008). Den mest energikrävande processen vid framställning av HVO är vätebehandling och denna kräver betydligt mer energi än transesterifiering till RME (Arvidsson, et al., 2011).



Figur 4. Illustration av produkt- och energiflöden i biodieselprocessen, illustrerad utifrån Martin & Eklund (2011).

Med avseende på energi kan RME produceras både småskaligt och i större anläggningar. En jämförande studie visar att de energi- och miljömässiga fördelarna vid större produktion jämnas ut av de längre transportererna. Samma studie visar att odling av raps är den del i produktionen där mest energi krävs (Bernesson, et al., 2004b). Till skillnad från etanol har RME-produktion mindre förluster i form av spillvärme och därför finns det ingen potential för att öka energiutbytet genom att utnyttja denna. Däremot är avsättning för biprodukterna viktig för att nyttja så stor del av den utgående energin som möjligt (Gode, et al., 2007). Idag finns det två företag som producerar RME i stor skala: Perstorp BioProducts AB och Ecobränsle AB (Energimyndigheten, 2016a).

Det krävs stora anläggningar för HVO-produktion för att skapa ekonomisk hållbarhet i produktionen. Detta beror främst på stora investeringskostnader i samband med etablering (f3centre, 2016). HVO som används i Sverige produceras av två aktörer: Preem i Göteborg och Neste i Finland (Energimyndigheten, 2016a).

#### 2.5.4 Kraftvärme

Kraftvärmeanläggningar är vanligt förekommande offentliga industrier och finns på flera platser i de tre länen. I ett kraftvärmeverk förbränns det ingående materialet

för att producera värme och el. Det vanligaste bränslet i Sverige är avfall och oförädlat trädbränsle såsom grenar och toppar (grot), bark och spån. Även returträ utnyttjas som bränsle (Jönsson, 2017). Ångkraft är den vanligaste tekniken för att producera el vilket sker genom att vatten kokas varefter vattenången leds genom en turbin. Turbinen är kopplad till en generator som producerar el. Verkningsgraden för en biobränsleeldad panna med ångturbin kan uppgå till ungefär 90 procent (Naturvårdsverket, 2005). Tillsammans med rökgaskondensering angivna kan verkningsgrader över 100 procent uppnås då energin i rökgasen tas till vara samtidigt som energin som krävs för att bilda ånga inte beaktas (Uppenberg, et al., 2001). Andelen producerad el varierar mellan 30 och 50 procent, där resten av den tillförda energin blir värme (Rydegran, 2017).

### 2.5.5 Vätgasproduktion

Vätgas kan ha många olika funktioner i energisystemet. Förutom att fungera som drivmedel i bränsleceller kan vätgas även spela en roll som energibärare vid överskott på el eller som tillsats i fordonsgas. Vätgas är dessutom en viktig komponent vid framställning av HVO. De vanligaste sätten att producera vätgas idag är genom ångreformering från naturgas och genom utvinning i oljeraffinaderier. Vätgas utvinns även genom förgasning av fossilt kol genom tillsats av ånga och syrgas. Ett mindre vanligt produktionssätt är genom elektrolys vilket endast motsvarar 4 procent av den totala vätgasproduktionen. Vätgas genereras även som en biprodukt inom liknande industrier, så som inom oljeraffinaderier och inom kemiindustrin. Vätgasen förbränns då ofta för intern värme eller facklas (Hwang, 2013; Larsson, 2015; Wallmark, et al., 2014).

Att producera vätgas genom elektrolys innebär att vatten spjälkas till sina beståndsdelar genom tillförsel av elektricitet enligt Ekvation 7 (Persson, et al., 2014).



Det finns olika tekniker för detta, vilka skiljer sig beroende på vilket katalytiskt material som använts. Den vanligaste och enklaste tekniken är alkalisk elektrolys som sker med en verkningsgrad mellan 50 och 70 procent. Andra tekniker är PEM (Proton Exchange Membrane) och SOEC (Solid Oxide Electrolysis Cell), vilka idag är mindre kommersiella. Vid elektrolysen genereras även ungefär 30 procent spillvärme i intervallet 60–80 °C med en verkningsgrad om 70 procent. Med hjälp av elektrolys kan vätgas produceras vid låg efterfrågan på el (och därmed låga elpriser) vid exempelvis kraftvärmeverk. Förutom lågt elpris undviks dessutom nätavgiften

då elen används direkt i anläggningen. Att producera vätgas på detta sätt är dock inget som görs på kommersiell skala idag. Tekniken kan möjliggöra användning av vätgas för drivmedelsproduktion, antingen via tillsats i biogasprocessen för att öka metanutbytet eller för att separat producera metan genom metanisering av vätgas tillsammans med koldioxid. Tekniken för att utnyttja el för att producera fordonsgas benämns ofta *power-to-gas*. Mest fördelaktigt skulle vara att utnyttja denna teknik vid mindre biogasanläggningar där en konventionell uppgraderingsanläggning inte är ekonomiskt motiverad. Tekniken kan därmed öka metanutbytet (Benjaminsson, et al., 2013; Mohseni, et al., 2017; Persson, et al., 2014). Mer om vätgasens roll i biogasprocessen redovisas i Avsnitt 2.6.

## 2.6 Drivmedelsproduktion i synergi med industri

I detta avsnitt redogörs för de fördelar som finns med samverkan mellan olika industrier samt de möjliga produktflödena som kan nyttjas.

### 2.6.1 Industriell symbios och bioraffinaderi

Första generationens drivmedel anses inte alltid vara energi- och kostnadseffektiva. Eftersom dessa är de viktigaste och vanligaste biodrivmedlen idag är det viktigt att undersöka hur dessa processer kan göras effektivare genom att kombinera drivmedelsproduktion med andra industrier (Martin & Eklund, 2011; SOU, 2007). Strategin för samverkan mellan olika industrier kallas Industrial Symbiosis (IS) och kan implementeras för att förbättra både de miljömässiga och ekonomiska resultaten för de ingående aktörerna genom att produkter, biprodukter och avfall utbyts mellan dem (Gonela & Zhang, 2014). Att drivmedelsindustrier kan utbyta produkter och biprodukter med varandra är också ett sätt att göra processerna mer effektiva (Martin & Eklund, 2011).

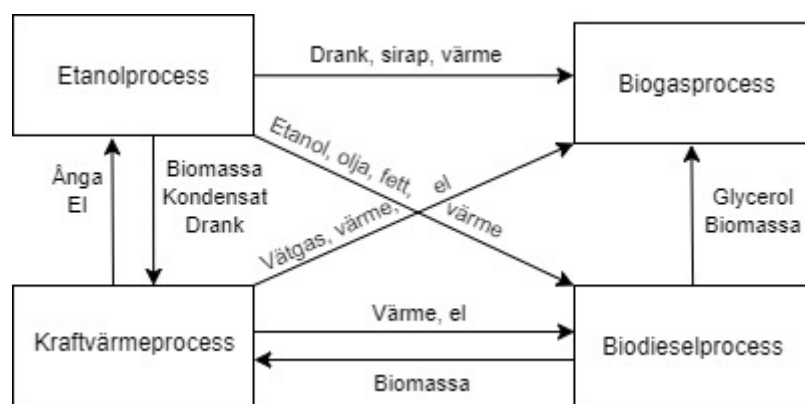
För att man vid produktion av biodrivmedel, likväl som vid produktion av fossila drivmedel, ska utnyttja biprodukter maximalt har begreppet bioraffinaderi myntats tillsammans med några krav för att en anläggning ska få den titeln. Enligt International Energy Agency definieras funktionen av ett bioraffinaderi som: ”hållbar bearbetning av biomassa för att skapa ett spektrum av produkter och energi som kan säljas på en marknad” (IEA Bioenergy, 2009, p. 7). Detta förklaras i en artikel av Cherubini (2010) som en anläggning där biomassa separeras i dess beståndsdelar för att av dessa kunna producera biodrivmedel, energi och kemikalier. Förutom lågvärdiga biprodukter bör även en högvärdig kemikalie samt en energiprodukt produceras i dessa anläggningar utöver värme och elektricitet. I samma artikel listas de



viktigaste produkterna från ett bioraffinaderi, vilka innefattar gasformiga, fasta och flytande bränslen så som biogas, pellets och biodiesel. Bland de viktiga kemiska och materiella produkterna hör organiska syror, biomaterial, djurfoder, polymerer och gödselmedel (Cherubini, 2010). Följande avsnitt beskriver hur drivmedelsproduktionen kan effektiviseras genom att öka antalet material- och energiflöden genom IS och därmed ta till vara på de olika produkter som genereras.

## 2.6.2 Möjliga synergier

Det finns flera olika möjliga utbyten som kan effektivisera drivmedelsproduktionen. I *Figur 5* ges en sammanfattning över möjliga produktflöden. Dessa beskrivs vidare i detta avsnitt.



*Figur 5.* Möjliga synergier mellan industrier.

Utbyten inom biodrivmedelsindustrier kan ske genom att exempelvis olja och fett som genereras i storskalig etanolproduktion utnyttjas för produktion av biodiesel (Martin & Eklund, 2011). Drank och sirap kan vidare användas som substrat i biogasprocessen (Martin & Eklund, 2011; Moestedt, 2015) och den producerade etanolen kan fungera som råvara i biodieselproduktion (Anastopoulos, et al., 2009; Martin & Eklund, 2011). Vidare kan det producerade glycerolet och biomissan i biodieselprocessen användas som substrat för att förbättra gasutbytet i biogasprocessen (Martin & Eklund, 2011; Nartker, et al., 2014). Till sist kan rötresten gödslas på marker där vete eller raps odlas för etanol eller biodiesel (Martin & Eklund, 2011). Det sistnämnda beaktades inte i *Figur 5*.

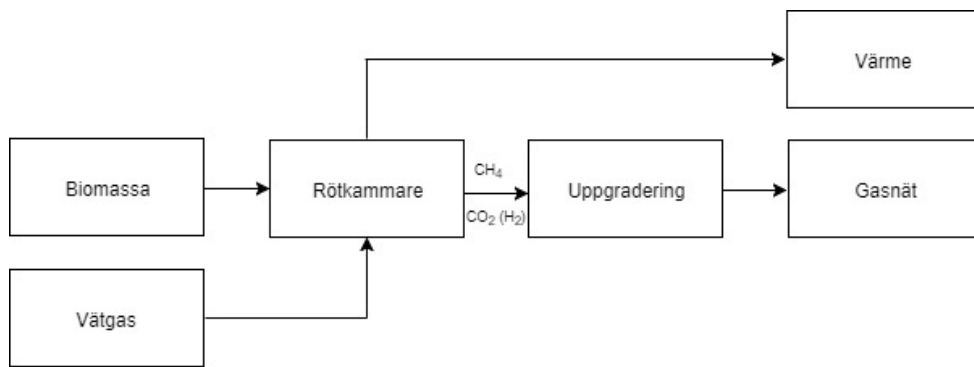
Det är inte bara produkter och biprodukter som kan utbytas utan även värme och restprodukter. Eftersom både biogas och biodiesel tillverkas i processer i intervallet 60–80 °C kan värme från etanolproduktion nyttjas i dessa. Biomassa som genereras

vid uttag av vete eller andra råvaror kan förbrännas i kraftvärmeverk och på så sätt sker ett utbyte då värme, el och ånga behövs i alla biodrivmedelsprocesser (Martin & Eklund, 2011). Biogas kan verka som en nyckelkomponent för att uppgradera lågvärdiga restprodukter från annan drivmedelsproduktion och därmed minska energi- och avfallskostnader (Hagman, et al., 2017). Det är även ekonomiskt fördelaktigt att samlokalisera kraftvärmeanläggningar och etanolindustrier då behovet av ånga i etanolproduktionen kan tillgodoses samtidigt som spillvärme kan återföras till kraftvärmeverket. Detta sker idag i Norrköping där kraftvärmeanläggning och etanolindustri samlokaliseras för att utnyttja olika produktutbyten. Drank från etanolproduktion kan torkas, pelleteras och förbrännas i kraftvärmeanläggningar (Gonela & Zhang, 2014; Hagberg, 2008; Martin & Eklund, 2011).

Som beskrivet i Avsnitt 2.5.5 kan vätgas produceras genom elektrolys i kraftvärmeanläggningar. Vätgasen kan sedan användas för att öka utbytet i biogasprocessen vilket kan ske på flera sätt. Vätgas reagerar med koldioxid enligt Ekvation 8 nedan (Benjaminsson, et al., 2013).

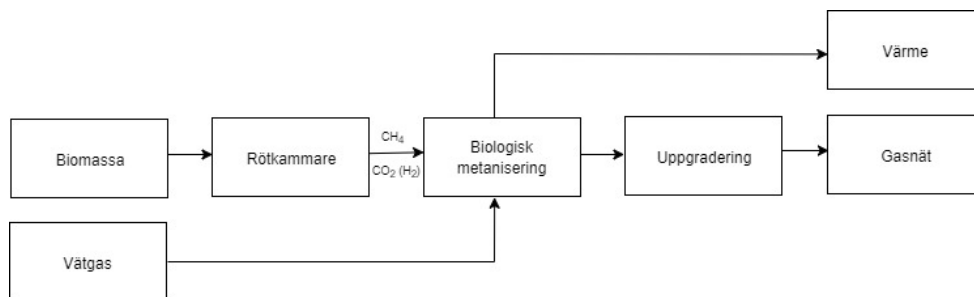


Ett sätt att utnyttja vätgas i biogasprocessen är att tillföra vätgas direkt under röttningsprocessen, in-situ, för att reagera med koldioxid och därmed öka metanhalten i rågasen. Här begränsas metanproduktionen av produktionen av koldioxid. En annan begränsning i processen är vätgasens benägenhet att lösa sig i vatten för att kunna reagera med koldioxid. Trots att vätgasen kan höja metanhalten är det svårt att få all koldioxid att reagera med vätgas och därmed kan uppgradering till fordonsgas krävas, om än i mindre omfattning, efter denna process. Den vätgas som inte reagerar med koldioxid och därmed kvarstår i rågasen kan förbättra egenskaperna vid förbränning i motorn. Fallstudier i pilotanläggningar har visat på en ökning av metaninnehållet i rågasen från 50 procent till 75 procent vid in-situ-processer (Bassani, 2017; Götz, et al., 2016; Luo, et al., 2012; Persson, et al., 2014). Processen illustreras i *Figur 6*.



Figur 6. Tillsats av vätgas i rötningsprocessen, in-situ. Illustrerat utefter Götz, et al. (2016)

En annan teknik är att blanda den färdiga rågasen med vätgas, ex-situ, så att koldioxiden och vätgas kan reagera och bilda metan. På så sätt blir metanhalten högre och behovet av att tvätta bort koldioxid vid uppgradering minskar. Vad som begränsar denna process är tillförseln av vätgas (Götz, et al., 2016; Persson, et al., 2014). Skillnaden mellan denna process och in-situ-processen är att metaninnehållet i rågasen inte ökar med denna metod eftersom vätgasen inte påverkar verkningsgraden i rötkammaren. *Figur 7* illustrerar denna process.



Figur 7. Tillsats av vätgas efter rötningsprocessen, ex-situ. Illustrerat utefter Götz, et al. (2016).

Ett tredje sätt att kombinera vätgas med biogasproduktion är att utnyttja koldioxiden som genereras vid uppgradering av biogas. Skillnaden från övriga tekniker är alltså att metan produceras avskilt från biogasprocessen. Dock kan mer metan totalt sett kan produceras genom ett koldioxidflöde som genereras i uppgradering av biogasen (Persson, et al., 2014).

Det finns fler än tidigare nämnda fördelar med att integrera vätgas i biogasprocessen: det kräver mindre avancerade, tekniska lösningar; det sker mindre oönskat utsläpp av metan; överskottselen kan lagras i form av gas istället för el (Benjaminsson,

et al., 2013; Khan, et al., 2017). Den producerade syrgasen kan säljas för användning inom till exempel metallindustrin (Russka, et al., 2017). Att tillsätta vätgas i biogasprocessen eller att utnyttja koldioxidflödet från en uppgraderingsanläggning för produktion av metan är dock inget som görs på kommersiell skala i dagsläget. Anledningen till detta är främst höga investeringskostnader och beroendet av låga elpriser, vilka krävs för att hålla nere produktionskostnaderna (Benjaminsson, et al., 2013; Khan, et al., 2017).

## 2.7 Dagens drivmedels- och kraftvärmeproduktion

I detta avsnitt redogörs för de biodrivmedelsanläggningar som finns idag i de tre länen. Befintliga kraftvärmeanläggningar och dess kapacitet redovisas även i detta avsnitt. Syftet med avsnittet är att ge en överblick över dagens produktion för att sedan kunna sätta detta i relation till potentiell produktion.

### 2.7.1 Biogasanläggningar

Idag finns det ett antal biogasanläggningar i de tre länen varav några få uppgraderar rågasen till fordonsgas. Den producerade mängden biogas år 2015 var 54 GWh i Uppsala län, 46 GWh i Södermanland och 72 GWh i Västmanland (Energimyndigheten, 2016b). I Tabell 1 redovisas en sammanställning av befintliga biogasanläggningar. Produktionsdata för varje anläggning baseras på olika år varför dessa kan skilja från dagens produktion. Det står klart att både nya biogasanläggningar och uppgraderingsanläggningar kommer att krävas för att öka produktionen av uppgraderad biogas.

Tabell 1. Biogasanläggningar, dess gasproduktion samt förekomst av uppgradering i de tre länen<sup>1</sup>.

Län	Anläggning	Substrat	Produktion [GWh]	Uppgradering?
Uppsala	Kungsängsverket	Avloppsslam	12	Ja
	Kungsängens gård	Organiskt avfall, slakteriavfall	30	Ja
	Storvreta ARV	Avloppsslam	0,5	Ja
	Jällaskolan		-	Nej
	Funbo-Lövsta	Vallgrödor, gödsel	7,0	Nej
Södermanland	Vingåker ARV	Avloppsslam	0,5	Nej
	Rosenholms ARV	Avloppsslam	2,0	Ja
	Brandholmen ARV	Avloppsslam	2,0	Nej
	Ekeby ARV	Avloppsslam, organiskt avfall	8,0	Ja
	Valla gård	Gödsel	30	Ja
	Björshults avfall-sanläggning	Deponigas	5,1	Nej
	Lilla Nyby	Deponigas	16	Nej
Västmanland	Persbo ARV	Avloppsslam	0,5	Nej
	Sala ARV	Avloppsslam	1,0	Nej
	Haga RV	Avloppsslam	1,0	Nej
	Mölntorp ARV	Avloppsslam	0,5	Nej
	Arboga RV	Avloppsslam	0,5	Nej
	Kungsängens reningsverk	Avloppsslam	12	Ja
	Gryta avfallsstation	Deponigas	19	Nej
	Isätra avfallsstation	Deponigas	0,11	-
	Vafab Miljö <sup>2</sup>	Organiskt avfall, vallgrödor, fettslam	35	Ja
	Gasum <sup>3</sup>	Gödsel, restprodukter från jordbruket	28	Ja

<sup>1</sup> Biogas Öst, 2017c

<sup>2</sup> Vafab Miljö, u.d.

<sup>3</sup> Gasum, u.d.

## 2.7.2 Övriga biodrivmedelsindustrier

Förutom biogasanläggningar förekommer även RME-produktion i Uppsala län. Utanför Enköping produceras RME på gårdsskala om 1000 liter RME per dygn (Eriksson & Rehnlund, 2008; Lille, 2007) och uppgifter från Länsstyrelsen visar att

en del lokalt producerad RME används inom Upplands lokaltrafik (Länsstyrelsen Uppsala län, 2011). För övriga län saknas information om biodrivmedelsproduktion.

### 2.7.3 Kraftvärmeanläggningar

För att kunna utnyttja en samverkan mellan drivmedelsanläggningar och kraftvärmeanläggningar krävs att dessa kan vara lokaliserade i anslutning till varandra. I Tabell 2 presenteras en sammanställning av befintliga kraftvärmeverk i länen. Dessutom presenteras typ av bränsle samt värme- och eleffekt för varje anläggning. Störst kraftvärmekapacitet finns i Västmanlands län följt av Uppsala län.

I Uppsala förbränns för närvarande stora mängder torv vilket är ett bränsle som klassas som ”långsamt förnybart” i Sverige (Torvutredningen, 2002). Dock omfattas torv av det europeiska systemet för utsläppsrätter. I Uppsala planerar Vattenfall att under 2018 ersätta torv med biobränsle i sina anläggningar. Detta innefattar att konvertera en hetvattenpanna till att elda träpellets samt att bygga en ny kraftvärmepanna med bland annat returträ som bränsle (Vattenfall, 2016).

Tabell 2. *Befintliga kraftvärmeverk, dess bränsle och kapacitet för produktion av värme och el*

Län	Anläggning	Bränsle	Kapacitet värme [MW]	Kapacitet el [MW]
Uppsala	Vattenfall <sup>1</sup>	Torv, trä		
	Vattenfall <sup>1</sup>	Avfall	405	130
	ENA Energi <sup>2</sup>	Returträ, skogsbränsle	55	24
Södermanland	SEVAB <sup>3</sup>	Returflis	0	9
	Tekniska Verken <sup>4</sup>	Returträ, biobränsle, träpellets	25	3
	Vattenfall <sup>5</sup>	Returträ	60	35
	Eskilstuna kraftvärmeverk <sup>6</sup>	grot, bark, spån	72	38
Västmanland	Mälarenergi <sup>7</sup>	Avfall, biobränsle	2 279	305
	Sala-Heby <sup>8</sup>	Skogsflis	21	9,8

<sup>1</sup> Vattenfall (2016)

<sup>2</sup> ENA Energi AB (2015)

<sup>3</sup> Bioenergi (2016)

<sup>4</sup> Ericsson (2017) och egen uppskattning av eleffekt

<sup>5</sup> Lindow (2009)

<sup>6</sup> Arvidsson & Lindkvist (2014)

<sup>7</sup> Installerad kapacitet enligt Mälarenergi (2016).

<sup>8</sup> Andersson Wahlman, u.d.

### 3 Teknisk biomassapotentia

Detta avsnitt syftar till att besvara frågeställning 1: *Hur stor är den tekniska biomassapotentia* för biodrivmedel och kraftvärme i länen? Biomassa innefattar all biomassa som kan användas till antingen drivmedelsproduktion eller kraftvärmeproduktion. Potentialen togs fram genom att undersöka tidigare studier gjorda inom de tre länen. I många fall gjordes antaganden för att kunna presentera en rimlig potential inom de närmsta 5–10 åren, vilka redogörs för i respektive avsnitt. En summering av det uttag av biomassa som görs idag respektive potentiellt uttag presenteras i *Tabell 3*, *Figur 8* och *Figur 9*. Därefter förs ett resonemang om dagens användning samt framtagna potential för olika biomassa.

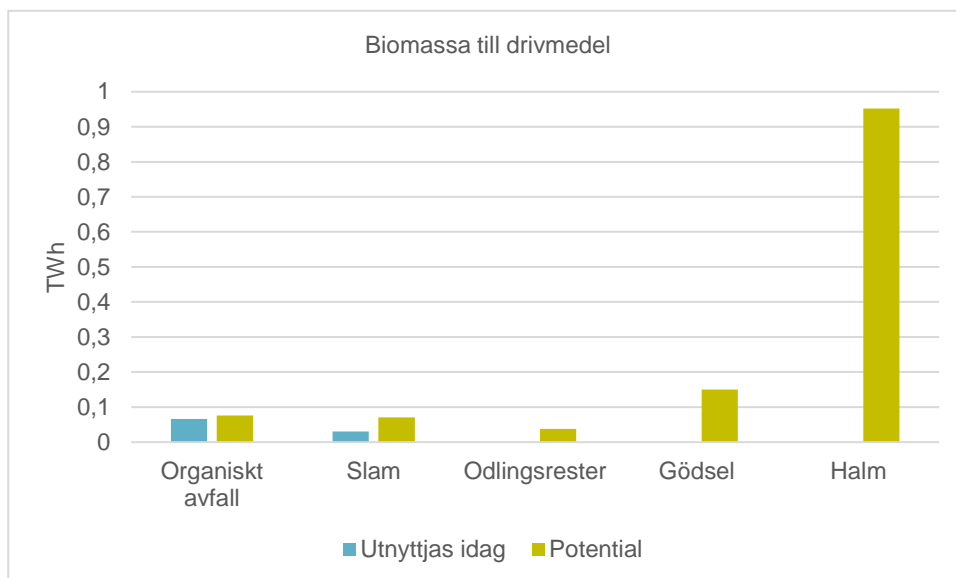
I *Tabell 3* presenteras råvaror i enheten ton torrsbstans (TS). Potentialen för åkerbränslen presenteras i enheten hektar (ha) och hur mycket biomassa detta motsvarar beror på vilken gröda som odlas. Mer om detta kan läsas i Avsnitt 5.1. Av de råvaror som ingår i biodrivmedelsproduktion har halm störst potential. Även arealen för åkerbränslen har en stor potential och är nästintill outnyttjad idag. Av de brännbara bränslena har rester från skogsindustrin en stor potential av nyttjas tillsammans med primära skogsbränslen.

Tabell 3. *Utnyttjande av biomassa idag och potentiellt uttag idag i respektive län.*

Råvara	Uppsala		Södermanland		Västmanland	
	Idag	Potential	Idag	Potential	Idag	Potential
Organiskt avfall [ton TS]	4 350	6 150	4 110	4 200	4 770	4 860
Åkerbränslen [ha]	3816	40 920	2 160	31 400	1000	22 500
Slam [ton TS]	4520	11 000	3800	7121	2 888	7 791
Odlingsrester [ton TS]	-	4000	-	625	0	3000
Gödsel [ton TS]	-	4 777	-	16 340	-	9 936
Halm [ton TS]	-	100 000	-	50 000	-	40 000
Brännbart avfall [ton]	125 000	125 000	100 500	100 500	81 480	81 480
Primära skogsbränslen [ton TS]	124 800	293 000	198 900	281 300	45 380	285 000
Rester skogsindustri [ton TS]	-	309 400	-	266 300	-	238 100

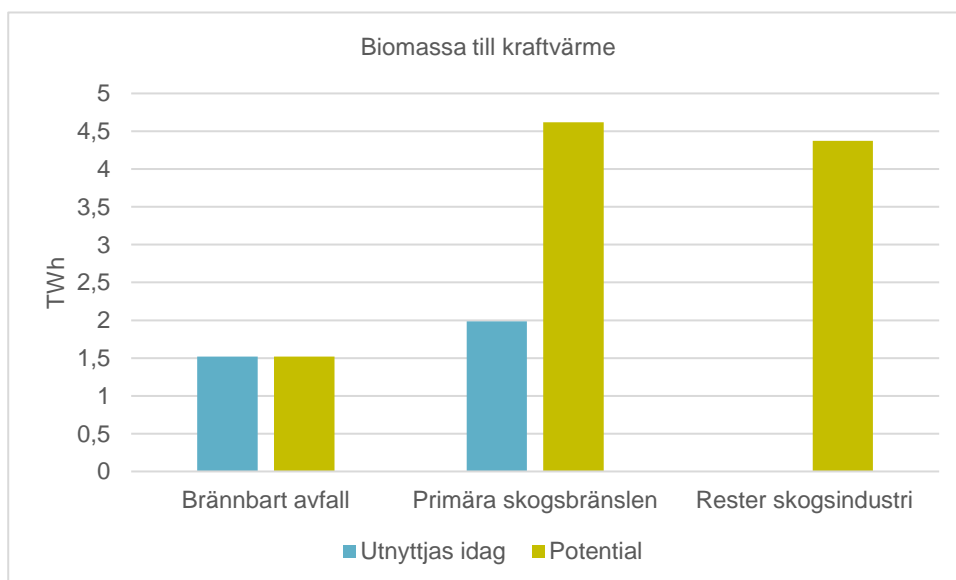
I *Figur 8* presenteras en sammanställning av biomassa för drivmedelsproduktion omräknat till energiinnehåll. Konverteringen gjordes med varje biomassas högre värmevärde, Appendix 1. Halm är råvaran med störst potential om knappt 1 TWh, men halm utnyttjas inte i något av länen idag. Gödsel har en potential om ungefär 0,15 TWh, men inte heller denna råvara utnyttjas idag. För organiskt avfall är skillnaden mellan total potential och det som nyttjas idag relativt liten.





Figur 8. Biomassa för produktion av drivmedel. Totalt utnyttjande idag i samtliga län samt potentialen för dessa.

Figur 9 illustrerar ingående biomassa i kraftvärmeprocessen. Rester från skogsindustrin har en stor potential men idag används dessa främst inom pappers- och mas-saindustrin. Primära skogsbränslen har en potential om ungefär 4,5 TWh och 2 TWh utnyttjas idag. Brännbart avfall nyttjas till fullo idag.



Figur 9. Biomassa för kraftvärmeproduktion. Totalt utnyttjande idag i samtliga län samt potentialen för dessa.

## 3.1 Organiskt avfall

För att beräkna mängden torrsubstans från mängden organiskt avfall antogs en TS-halt på 30 procent (Carlsson & Uldal, 2009).

### 3.1.1 Uppsala

Idag rötas 28 100 ton organiskt avfall per år i Uppsala kommun varav 5 300 ton är organiskt avfall från industrin (Uppsala Vatten, 2016). Detta kommer dock från ett 20-tal kommuner inom och utanför länet (Byfors, 2014). Detta avsnitt utreder biomassapotentialet inom länen varför det organiska avfall som faktiskt kommer från Uppsala län presenteras nedan. Vid en utsorteringsgrad om 100 procent i Uppsala län skulle den totala mängden organiskt avfall uppgå till 41 000 ton (Linné, et al., 2008). Idag går totalt 14 500 ton (4 350 ton TS) organiskt avfall per år i länet till central rötning i länet (Avfall Sverige, 2015), vilket alltså motsvarar en utsorteringsgrad om ungefär 35 procent. Denna siffra presenteras i *Tabell 3*. I Sverige finns ett mål om utsorteringsgrad om 50 procent till år 2018 (Naturvårdsverket, 2017) vilket i detta fall resulterar i en rimlig potential om 20 500 ton insamlat organiskt avfall från det egna länet vilket motsvarar 6 150 ton TS.

### 3.1.2 Södermanland

Idag samlas 3 750 ton TS in i Södermanland varje år undantaget kommunerna Vingåker, Katrineholm och Flen vilka introducerade utsortering under 2016 (Österqvist, 2015). Enligt en rapport från länsstyrelsen i Södermanland uppgår organiska avfallet från hushåll till 9 178 ton TS per år med antagandet om en utsorteringsgrad på 100 procent. Livsmedelsavfall uppgår med samma utsorteringsgrad till 499 ton TS per år (Österqvist, 2015). I en rapport från Avfall Sverige redovisas 13 700 ton (4 110 ton TS) insamlat organiskt avfall till rötning år 2014 vilket enligt samma rapport ska motsvara ett medelvärde i kommunerna om 34 procentig utsortering. Enligt dessa siffror är den totala potentialen 40 300 ton (Avfall Sverige, 2015). Enligt Biogas Öst databas ska det totala uppkomna organiska avfallet per år i länet vara 28 200 ton (8 460 ton TS) (Biogas Öst, 2017b). Med statistiken om insamling från Avfall Sverige och totala mängden organiskt avfall på 28 200 som uppkommer fås en utsorteringsgrad idag på 49 procent. Många kommuner i länet har som mål att samla in 50 procent av det uppkomna organiska avfallet vilket därmed skulle innebära 14 000 ton (4 200 ton TS).

### 3.1.3 Västmanland

År 2009 samlades 15 000 ton organiskt hushållsavfall in i Västmanland och planer fanns 2010 på att samla in ytterligare 3 000 ton per år (Biogas Öst, 2010). Enligt en rapport från Avfall Sverige samlades 15 900 (4 770 ton TS) ton in år 2014 för rötning i länet (Avfall Sverige, 2015). Potentialen för organiskt avfall i Västmanland är 32 000 ton per år med antagandet att utsorteringsgraden uppgår till 100 procent (Linné, et al., 2008). Enligt målen för insamling för många kommuner i länet om 60 kg per invånare (Biogas Öst, 2017b) fås en rimlig potential om 16 200 ton (4 860 ton TS) (Statistiska Centralbyrån, 2017)

## 3.2 Åkerbränslen

Åkerbränslen innefattar både ettåriga grödor, så som exempelvis vete och vall, och även fleråriga energigrödor så som salix.

### 3.2.1 Uppsala

Idag odlas salix på 2016 ha i Uppsala län (Byfors, 2014). Med antagandet om en avkastning på 5 ton TS per ha och år motsvaras denna areal av 10 080 ton TS per år (Österqvist, 2015). Varje år fraktas 10 000 ton spannmål från Uppsala län till Agrotanols anläggning i Norrköping för etanolproduktion. Denna mängd spannmål odlas på en areal om ungefär 1 800 ha och skulle kunna nyttjas i det egna länet (Byfors, 2014). Vår- och höstraps förväntas odlas på 5 654 ha år 2017 (Jordbruksverket, 2017) men det finns ingen statistik på hur stor andel som används för energiändamål. Som tidigare nämnt produceras mindre mängder RME på gårdsskala utanför Enköping (Eriksson & Rehlund, 2008; Lille, 2007). Ett antal bussar inom Upplands lokaltrafik drivs av lokalt producerad RME (Länsstyrelsen Uppsala län, 2011). Det finns en möjlighet att öka uttaget av energigrödor och åkerbränslen genom att utnyttja nedlagd åkermark och trädesareal samt genom effektivisering av odlingen. Genom att utnyttja nedlagd åkermark skulle ytterligare en areal av 5 100 ha nyttjas och med nyttjande av trädesareal ytterligare 16 500 ha (Byfors, 2014). En effektivisering av odlingen skulle kunna ge ytterligare uttag av energigrödor om 341 GWh, med en avkastning på 5 ton TS per ha och år och 4,4 MWh per ton TS skulle omfatta 15 500 ha (Byfors, 2014). Totalt fås därmed en potentiell areal om 40 916 ha.

### 3.2.2 Södermanland

I Södermanland odlas 10 800 ton TS energiskog per år. Med en avkastning om 5 ton TS per ha omfattar detta 2 160 ha (Österqvist, 2015). Arealen för odling av vår- och

höstraps uppgår till 5 402 ha (Jordbruksverket, 2017) men statistik på vad som nyttjas för energiproduktion saknas. Effektivare odling skulle kunna ge en total areal om 6 300 ha eller 31 500 ton TS per år. I denna potential har antagandet gjorts att en effektivisering av odlingen sker och att växtförädling gör att 5 procent mer av åkerarealen kan utnyttjas med en genomsnittlig avkastning på 5 ton TS per år (Österqvist, 2015). Genom att dessutom utnyttja trädesareal skulle den totala potentialen för energigrödor uppgå till 12 800 ha eller 64 000 ton TS med samma antaganden om avkastning som tidigare. Mark för grödor som exporteras samt nedlagd mark har inte räknats med då data för detta saknas. För övriga åkerbränslen fanns ingen data för vad som används till bioenergi i Södermanland idag (Österqvist, 2015).

### 3.2.3 Västmanland

Idag utnyttjas 40 GWh salix i Västmanland. Detta motsvarar 1000 ha med antaganden: 5 MWh per ton TS och en avkastning om 8 ton TS per ha (Lundberg, 2011). Total arealen för odling av vår- och höstraps uppgår till 3005 ha (Jordbruksverket, 2017) men data saknas för ifall denna raps används till energiproduktion. Vad gäller produktion av spannmål för energiändamål finns ingen data för Västmanland. Potentialen är 900 GWh för energigrödor i Västmanland när endast salix inräknats. Med samma antaganden som innan motsvarar detta en potential om 22 500 ha (Lundberg, 2011).

## 3.3 Halm

Halm som används för energiproduktion idag innefattar främst förbränning av halm i värmeverk eller mindre anläggningar på gårdsnivå. Data för hur mycket som nyttjas i länen idag saknas (Österqvist, 2015).

### 3.3.1 Uppsala

Restprodukter i form av halm i Uppsala län som kan utnyttjas för energiändamål kan uppgå till 352 000 ton TS per år. Förluster i form av agnar, boss och stubb är inte inräknat i denna potential. Dessa kan omfatta 30 procent av skörden (Linné, et al., 2008). Enligt en annan rapport är den praktiska tillgången på halm för energiändamål i Uppsala 100 000 ton TS av en total halmmängd på 190 000 ton TS (Börjesson, et al., 2013). Detta styrks även i en tredje rapport där halmtillgångar om 101 100 ton presenteras (18 procents vattenhalt) av en total tillgång på 220 400 ton (Nilsson & Bernesson, 2009). Då den första siffran inte tar hänsyn till förluster antas

potentialen till ett medelvärde av de två senare vilket ger en potential om 91 500 ton TS i Uppsala län.

### 3.3.2 Södermanland

Halm är en stor potential i Södermanland och kan uppgå till 97 077 ton TS per år (Österqvist, 2015). Enligt en annan rapport är den praktiskt tillgängliga potentialen för energiändamål 50 000 ton TS per år av en total halmmängd på 130 000 ton TS per år (Börjesson, et al., 2013). Ytterligare en rapport redovisar en potential på 58 900 ton halm (18 procents vattenhalt) av en total tillgång på 158 600 ton (Nilsson & Bernesson, 2009). Av dessa data antas potentialen till ett medelvärde av de tre presenterade vilket ger ett värde av 65 100 ton TS.

### 3.3.3 Västmanland

Potentialen för halm i Västmanland är 40 000 ton TS per år som är praktiskt tillgängligt för energiändamål medan 110 000 ton TS per år är den totala mängden halm (Börjesson et. al., 2013). En annan rapport visar på en potential om 212 000 ton TS per år där hänsyn ej tagits till förluster (Linné, et al., 2008). Ytterligare en rapport redovisar en potential om 64 300 ton (18 procents vattenhalt) i nettotillgång av en total tillgång på 149 800 ton (Nilsson & Bernesson, 2009). Med dessa data görs ett antagande genom att ta medelvärdet av de två värden där hänsyn tagits till förluster vilket ger en potential om 46 400 ton TS.

## 3.4 Övriga odlingsrester

Övriga odlingsrester innefattar rester från skörd exklusive halm.

### 3.4.1 Uppsala

Övriga odlingsrester i Uppsala innefattar potatis, blast från potatis och vall (Linné, et al., 2008). Som tidigare nämnt utnyttjas en del vallgröda i mindre anläggningar i Uppsala idag (Biogas Öst, 2017c) men information om mängder saknas. Potentialen för odlingsrester uppgår till 4 000 ton TS per år (Linné, et al., 2008).

### 3.4.2 Södermanland

En del vallgröda utnyttjas för biogas i Södermanland idag (Biogas Öst, 2017c) men information om exakta mängder saknas. Det finns ett överskott av vall vilken motsvarar 93 000 ton TS per år till följd av minskad djurhållning. Om detta räknas om med en genomsnittlig avkastning på 5 ton TS per ha omfattar detta en areal om 18 600 ha. Denna areal skulle även kunna användas för andra energigrödor (Österqvist, 2015). Det finns en mindre potential för övriga odlingsrester vilket innefattar exempelvis blast. Denna uppgår till 250 ton TS per år (Österqvist, 2015). I en annan rapport redovisas en potential för odlingsrester om 1000 ton TS per år (Linné, et al., 2008). Ett medelvärde av de två senare resulterar i 625 ton TS vilket redovisas under *Övriga odlingsrester* i *Tabell 3*. Överskottet av vall om 18 600 ha inkluderas tillsammans med arealen för åkerbränslen då denna areal är betydande i storlek.

### 3.4.3 Västmanland

Gröngödslingsvall är en ekologisk klöverrik vall som slås och överskottet kan samlas in och fungera som substrat till biogas. Denna potential utnyttjas inte idag. Den totala potentialen för blast, potatis och gröngödslingsvall uppgår till 3 000 ton TS per år i Västmanland (Linné, et al., 2008).

## 3.5 Gödsel

Gödselproduktion i de undersökta länen baseras främst på gödsel från nötkreatur och insamling och användning begränsas av dess stora geografiska spridning.

### 3.5.1 Uppsala

Idag rötas gödsel tillsammans med vall i en gårdsanläggning i Uppsala (Biogas Öst, 2012) där produktionen uppgår till 7 GWh per år och används till värme och el i de egna fastigheterna (Biogas Öst, 2017c). Data över exakta mängder gödsel som rötas idag saknas. Gödselproduktionen i Uppsala län omfattar 81 000 ton TS per år. Denna potential inkluderar en del osäkerheter då antagandet gjorts att djur inte går på bete under sommarhalvåret, trots att det finns krav på detta (Linné, et al., 2008; Jordbruksverket, 2016). Dessutom varierar mängden mycket beroende på bland annat foderstat och hanteringssystem för gödslet (Linné, et al., 2008). För att kunna anta en rimlig potential av nyttjande av den totala mängden gödsel användes en tidigare studie som fokuserade på att identifiera så kallade "hotspots" för biogas, med målet att uppgradera gasen till fordonsgas. I Uppsala län identifierades totalt en potential av 1 194 151 Nm<sup>3</sup> rågas från tre olika kommuner. Uppskattningen gjordes

genom att välja ut de områden som producerar tillräckligt mycket gödsel för att en uppgraderingsanläggning ska vara lönsam. Dessutom fick insamlingen inte medföra alltför långa transporter enligt rapporten. För att utnyttja denna potential krävs nya anläggningar för samrötning och uppgradering. Rågas innehåller ungefär 60 procent metan och 40 procent koldioxid (Forsberg, 2009). Genom att utnyttja ett ungefärligt värde för nötgödsel, vilka är vanligaste djuren i länen, om  $150 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4$  per ton TS (Forsberg, 2009; Linné, et al., 2008) fås då en rågaspotential om  $250 \text{ Nm}^3$  per ton TS. Rågaspotentialen kan därmed räknas om till gödselmängd vilken då blir 4 777 ton TS.

### 3.5.2 Södermanland

Idag rötas flytgödsel motsvarande 6 300 ton TS i en samröttningsanläggning i Katrineholm. Potentialen för gödsel i Södermanland delas in i flytgödsel och fastgödsel där flytgödsel har en potential på 28 133 ton TS per år och medan fastgödsel har en potential på 40 707 ton TS per år i Södermanland (Österqvist, 2015). En annan rapport visar på en total produktion av gödsel på 153 500 ton TS per år i Södermanland. Denna potential är baserad på en maximal mängd gödselproduktion utan hänsyn till att djur går på bete, enligt tidigare resonemang (Linné, et al., 2008). Enligt tidigare nämnda studie för ”hotspots” av biogas antogs potentialen till  $4\,085\,036 \text{ Nm}^3$  rågas (Forsberg, 2009). På liknande sätt som tidigare beräknas denna rågas till 16 340 ton TS vilken kommer användas som potential i detta arbete.

### 3.5.3 Västmanland

Idag nyttjas ingen gödsel för biogasproduktion i Västmanlands län (Biogas Öst, 2010). Den maximala gödselpotentialen uppgår till 54 600 ton TS per år. Potentialen är baserad på total mängd gödselproduktion utan hänsyn till att djur går på bete en del av året (Linné, et al., 2008). Enligt studien om möjliga ”hotspots” för biogas antas potentialen till  $2\,483\,934 \text{ Nm}^3$  rågas (Forsberg, 2009). Potentialen omvandlas till ton TS enligt tidigare och uppgår därmed till 9 936 ton TS.

## 3.6 Slam

Slam har traditionellt rötats till biogas vid avloppsreningsverk för att minska slamvolymen. Den producerade biogasen bränns då ofta i direkt anslutning till anläggningen för intern värme och el.

### 3.6.1 Uppsala

Totalt finns i Uppsala län fyra rötningsanläggningar med avloppsslam som substrat (Biogas Öst, 2012). Den mängd avloppsslam som rötades i Kungsängsverket i Uppsala 2015 var 3 300 ton TS (Uppsala Vatten, 2015). 120 ton TS rötades vid Störvretas anläggning (Uppsala Vatten, 2014). I Enköpings reningsverk rötas slam från ungefär 22 000 anslutna kunder (Särnefält, 2015) vilket med en slamproduktion om 50 kg TS per person och år (Linné, et al., 2008) ger en total behandlad mängd om 1 100 ton TS per år. Data för behandlat slam i Östhammar har ej behandlats. Detta ger en total behandlad mängd i länet om 4520 ton TS per år. Det avloppsslam som finns tillgängligt i Uppsala län uppgår till 11 000 ton TS per år (Linné, et al., 2008). Alltså rötas idag 41 procent av slammet.

### 3.6.2 Södermanland

Idag rötas redan 3800 ton TS slam i Södermanland vilket motsvarar ungefär 53 procent om den totala mängden slam uppgår till 7 121 ton TS per år (Österqvist, 2015).

### 3.6.3 Västmanland

Största reningsverket i Västmanland är Kungsängens reningsverk i Västerås som år 2014 rötade 2 888 ton TS slam (Mälarenergi, 2014). Behandlade mängder slam uppgår till 5 581 ton TS per år där en del av detta rötas till biogas i de 6 avloppsreningsverk med den möjligheten (Biogas Öst, 2010). Enligt en rapport uppgår den totala mängden slam i Västmanland till 10 000 ton TS per år beräknat på ett genomsnitt av 50 kg TS per person och år (Linné, et al., 2008). Ett medelvärde av de två redovisade potentialerna ger 7 791 ton TS.

## 3.7 Brännbart avfall

Brännbart avfall innefattar både hushållsavfall och industriavfall. Antagandet görs att mängden brännbart avfall inte förväntas öka (Byfors, 2014).

### 3.7.1 Uppsala

Mängden brännbart avfall i Uppsala Län uppgår till 125 000 ton per år där hushållsavfallet står för 63 000 ton och resten är avfall från industrin. Idag förbränns totalt 340 000 ton avfall varje år i Uppsalas anläggningar vilket motsvarar 46 procent av



det totala insatta bränslet. Bränslet kommer bland annat från Uppsala, Södermanland och Västmanland och innehåller ungefär 75 procent förnybart material (Byfors, 2014).

### 3.7.2 Södermanland

Mängden hushållsavfall som går till förbränning i Södermanland var 50 233 ton år 2015 (Avfall Sverige, 2015; Statistiska Centralbyrån, 2017). Då data saknas för brännbart industriavfall antogs denna mängd vara lika stor som mängden hushållsavfall enligt Byfors (2014).

### 3.7.3 Västmanland

Hushållsavfall till förbränning uppgår i Västmanland till 40 740 ton per år (Avfall Sverige, 2015; Statistiska Centralbyrån, 2017). Då data saknas för brännbart industriavfall antogs denna mängd vara lika stor även i detta fall.

## 3.8 Primära skogsbränslen

Primära skogsbränslen är främst grot men kan även innefatta ett mindre uttag av stubbar.

### 3.8.1 Uppsala

Uttag av primära skogsbränslen idag i Uppsala län är 734 000 m<sup>3</sup> per år vilket motsvarar 124 780 ton TS om antagandet görs att 1 m<sup>3</sup>s motsvarar 0,17 ton TS (Skogsstyrelsen, 2014). Energiinnehållet kan med värmeverdets 19,2 MJ per kg TS (JTI, 2013) beräknas till 670 GWh. Detta bränsle innefattar främst grot och används till kraftvärme i första hand. Ett ökat uttag skulle kunna ge en potential på 1 124 GWh (Byfors, 2014). Denna potential är beräknad för år 2050 men eftersom uttaget i hela landet inte skiljer sig med mer än ungefär 4 procent mellan 2020 och 2050 (Egnell, 2013) antas siffran 1 124 GWh inte skilja nämnvärt mellan idag och 2050. Denna potential är uppskattad med hänsyn tagen till nuvarande skogsskötsel, ökad tillväxt på grund av klimatförändringar samt de miljöbestämmelser som rådde vid beräkningen (Egnell, 2013). En annan rapport redovisar om en potential på 5 270 GWh utan begränsningar och 1 990 GWh med tekniska och ekonomiska begränsningar (Lundberg, 2011). Från dessa data antas ett medelvärde av de två lägre potentialerna då dessa inkluderat tekniska begränsningar vilket resulterar i 1 557 GWh eller 292 500 ton TS.

### 3.8.2 Södermanland

Idag skördas grot och stubbar i Södermanland motsvarande 1061 GWh. Potential för uttag av primära skogsbränslen varierar mellan 263 000 och 530 000 ton TS per år beroende på vilka restriktioner som görs. Den lägre siffran avser rimligt uttag och den högre siffran är vad som är fysiskt möjligt att ta ut. Rimligt uttag tar hänsyn till ekologiska aspekter. Detta kan översättas till 1 290 GWh (Österqvist, 2015). Enligt en annan rapport visar potentialen för grot och stubbar utan begränsningar 4 540 GWh per år, och med ekonomiska och tekniska begränsningar 1 710 GWh per år (Lundberg, 2011). Med dessa siffror antas ett medelvärde om 1 500 GWh.

### 3.8.3 Västmanland

Ett medeltal för uttag av grot mellan 2011 och 2013 visar på en mängd av 267 000 m<sup>3</sup>s eller 45 390 ton TS med omvandling enligt tidigare (Skogsstyrelsen, 2014). Med antagandet om ett värmevärde på 19,2 MJ per kg (JTI, 2013) omfattar uttaget idag 242 GWh. Potentialen för grot och stubbar uppgår till 4 040 GWh per år i Västmanland beräknat utan begränsningar. Men ekonomiska och tekniska begränsningar uppnås istället en potential av 1 520 GWh per år vilken kommer användas i denna utredning (Lundberg, 2011).

## 3.9 Rester från skogsindustrin

Rester inom skogsindustrin innefattar spån, bark och liknande och används till stor del redan inom industrin. Potentialen för detta i Södermanland uppgår till 74 460 ton TS per år. Siffrorna är baserade på de sågverk som finns i Södermanland och inte specifikt på skogen som finns i länet (Österqvist, 2015). I en rapport av Biogas Öst presenteras en potential för Uppsala, Södermanland och Västmanland i storlekarna 1,65 TWh, 1,42 TWh och 1,27 TWh per år (Lundberg, 2011). Dessa kan räknas om till 309 375 ton TS, 266 250 ton TS och 238 125 ton TS genom att utnyttja ett värmevärme om 19,2 MJ per kg TS. Dock är dessa värden osäkra då större delar av dessa redan utnyttjas i pappers- och massaindustrin (Lundberg, 2011).

## 4 Metod

I detta avsnitt redogörs för de metoder som ligger till grund för resultaten samt de data som använts. Avsnittet inleds med en presentation av tillvägagångssättet för att beräkna producerat drivmedel och tillförd energi, kostnadseffektivitet och regional tillväxt. Vidare redovisas de beräkningar som relaterar till olika synergieffekter. En förklaring ges till hur optimeringsmodellen skapades. Till sist presenteras de data som använts.

### 4.1 Beräkning av energi

I detta arbete beaktas dels potentialen att producera drivmedel från en viss mängd råvara baserat på omvandlingseffektiviteten, dels beaktas hur mängden drivmedel relaterar till den energi som krävs för att producera drivmedlet. Det sistnämnda benämns vidare i detta arbete som *nettoenergi*. För att beräkna producerad mängd drivmedel användes Ekvation 9. Denna ekvation används för att visa på den totala mängden drivmedel som är möjlig att producera baserat på varje råvara  $i$ . Råvarorna presenteras i Avsnitt 4.6. Vid beräkning av skillnaden i utgående och tillförd energi i Ekvation 10, den så kallade nettoenergin, beräknas skillnaden mellan producerat drivmedel och tillförd energi i form av värme, el och insatt energi vid odling. Detta gör att drivmedelsprocesserna kan analyseras, inte bara baserat på hur mycket drivmedel som produceras, utan också utifrån hur energieffektiva de olika processerna är. Begreppet nettoenergi behandlades i Avsnitt 2.1. För råvaror som inte beror av en areal användes den direkta mängden framtagna råvara multiplicerat med omvandlingseffektiviteten.

$$E_{ut} = x_i \eta_i r_i \tag{9.}$$

$$E_{ut} - E_{in} = x_i \eta_i r_i - (\varepsilon_i x_i + x_i \eta_i r_i v_i + x_i \eta_i r_i e_i) \quad (10.)$$

där  $x_i$  är tillgänglig areal [ha],  $\eta_i$  är odlingseffektivitet [MWh råvara/ha],  $r_i$  är omvandlingseffektivitet [MWh drivmedel/MWh råvara],  $\varepsilon_i$  är energinsats odling [MWh/ha],  $v_i$  är energiinsats värme [MWh värme/MWh drivmedel],  $e_i$  är energiinsats el [MWh el/MWh drivmedel]

## 4.2 Beräkning av kostnadseffektivitet

För att beräkna kostnadseffektivitet användes Ekvation 11 för samtliga råvaror  $i$ . Begreppet kostnadseffektivitet behandlades i Avsnitt 2.2. Kostnadseffektivitet, eller direkt vinst, definieras i detta arbete som skillnaden mellan intäkter för drivmedel och biprodukter och kostnader för att producera drivmedlet. Kostnadseffektivitet definieras på liknande sätt i Gonela & Zhang (2014) där studiens syfte var att optimera drivmedelsproduktion med avseende på vinst. För att denna ekvation ska motsvara vinsten vid drivmedelsproduktion och därmed försäljning av drivmedel vid anläggningen måste distributions- och tank-kostnaderna subtraheras från priset som betalas vid tankstationen. Dessa kostnader beror på hur drivmedlet distribueras, hanteras och lagras vid tankstation. Dessa behandlas vidare i Avsnitt 4.8. Notera att priset för biprodukten inkluderas i Ekvation 11 då denna kan säljas som foder exempelvis.

$$K_{ut} - K_{in} = x_i \eta_i r_i (d_i + b_i - p_i - \delta_i) \quad (11.)$$

där  $d_i$  är priset för drivmedel [SEK/MWh drivmedel],  $b_i$  är priset för biprodukt [SEK/MWh drivmedel],  $p_i$  är produktionskostnad [SEK/MWh drivmedel] och  $\delta_i$  är distributionskostnad [SEK/MWh drivmedel].

## 4.3 Beräkning av regional tillväxt

För att beräkna regional tillväxt inkluderades dels förändring av BRP baserat på arbetstillfällen, dels användes utsläpp för att uppskatta de samhällsekonomiska effekterna. Dessa begrepp förklarades i Avsnitt 2.3.

#### 4.3.1 Bruttoregionalprodukt

Ökningen av bruttoregionalprodukt beräknades med Ekvation 12 vilken baseras på formeln för BRP i Avsnitt 2.3.1. BRP beräknas för samtliga råvaror  $i$ . Varje drivmedels bidrag till direkta och indirekta arbetstillfällen summeras och multipliceras med produktiviteten. Denna beräkningsmetodik har använts i en tidigare studie (Waluszewski, et al., 2011). Det antogs att produktionen av fossila drivmedel endast genererar arbetstillfällen utanför regionen varför Ekvation 12 inte är en skillnad mellan BRP för biodrivmedel och fossilt drivmedel.

$$BRP = x_i \eta_i r_i (j_i J_i + l_i L_i) \quad (12.)$$

där  $j_i$  är direkt sysselsatt [arbetstillfällen/MWh drivmedel],  $J_i$  är indirekt produktivitet [SEK/direkt arbetstillfälle],  $l_i$  är indirekt sysselsatt [arbetstillfällen/MWh drivmedel] och  $L_i$  är indirekt produktivitet [SEK/indirekt arbetstillfälle].

#### 4.3.2 Samhällsekonomiska effekter

För att beräkna den samhällsekonomiska nyttan av minskade klimat- och miljöeffekter nyttjades ett förenklat tillvägagångssätt enligt nedan, baserat på metoden presenterad i Avsnitt 2.3.2.

1. Definition och avgränsning av åtgärden
2. Identifiering och kvantifiering av relevanta effekter
3. Värdering i kronor (monetär värdering)

Definition och avgränsning av åtgärder gäller enligt omfattningen av detta arbete vilket innebär produktion av biogas, etanol och RME baserat på tillgänglig biomassa. De relevanta effekterna inkluderar utsläpp av CO<sub>2</sub>-ekvivalenter, SO<sub>2</sub>-ekvivalenter, PO<sub>4</sub>-ekvivalenter och partiklar. Med hjälp av riktvärden för kostnad för utsläpp enligt Trafikverket genomfördes den monetära värderingen (Trafikverket, 2016). Mer om detta kan läsas i Avsnitt 4.9.

De samhällsekonomiska effekterna (SEE) till följd av minskad klimat- och miljöpåverkan beräknas med Ekvation 13. För att få vinsten vid användning av biodrivmedel subtraheras dessa samhällskostnader från utsläppkostnader relaterade till fossilt drivmedel. Utsläpp ett till fyra motsvarar alltså utsläpp av CO<sub>2</sub>-ekvivalenter, SO<sub>2</sub>-ekvivalenter, PO<sub>4</sub>-ekvivalenter respektive partiklar från fossil referens.

$$SEE = x_i \eta_i r_i \cdot ((f_1 k_1 - u_{1i} k_1) + (f_2 k_2 - u_{2i} k_2) + (f_3 k_3 - u_{3i} k_3) + (f_4 k_4 - u_{4i} k_4)) \quad (13.)$$

där  $f_{1-4}$  är utsläpp från fossil referens [kg/MWh drivmedel],  $u_{1i}$  är utsläpp CO<sub>2</sub> [kg/MWh drivmedel],  $u_{2i}$  är utsläpp SO<sub>2</sub> [kg/MWh drivmedel],  $u_{3i}$  är utsläpp PO<sub>4</sub> [kg/MWh drivmedel],  $u_{4i}$  är utsläpp partiklar [kg/MWh drivmedel],  $k_1$  är kostnad CO<sub>2</sub> [SEK/kg],  $k_2$  är kostnad SO<sub>2</sub> [SEK/kg],  $k_3$  är kostnad PO<sub>4</sub> [SEK/kg],  $k_4$  är kostnad partiklar [SEK/kg].

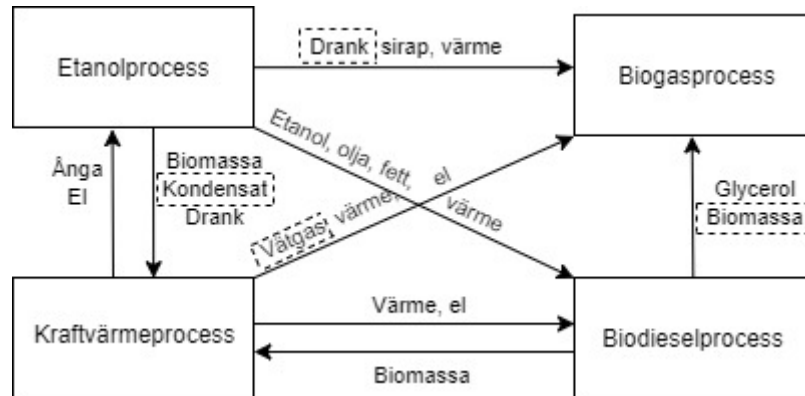
#### 4.4 Beräkningar relaterade till synergieffekter

Vid implementering av synergier krävs en viss mängd producerad vätgas som tillsätts i biogasprocessen för att öka metanutbytet från substratet, beskrivet i Avsnitt 4.4.1. Detta arbete fokuserar på produktion av vätgas genom elektrolys. För denna produktion krävs elektricitet som energikälla och syrgas genereras som biprodukt. Vid denna implementering minskar dessutom behovet av el för uppgradering av biogas. Samtliga parametrar beräknas i detta avsnitt.

##### 4.4.1 Inkluderade synergier

I *Figur 10* presenteras de identifierade produkt- och energiflödena vid symbios mellan de olika drivmedelsprocesserna och offentliga industrier. Enligt föregående avsnitt är kraftvärme den största offentliga industrin i dessa län. Följande produktflöden inkluderas i detta arbete:

- i. rötning av drank från etanolproduktion
- ii. rötning av biomassa från biodieselproduktion
- iii. vätgas från kraftvärmeprocess tillsätts in-situ i biogasprocessen
- iv. kondensat från etanolprocessen återförs till fjärrvärmenätet.



Figur 10. Produktflöden mellan industriprocesser med inkluderade flöden inringade.

In-situ-processen valdes då denna är den enda som ökar metan-innehållet i rågasen och därför förbättrar omvandlingseffektiviteten. Denna teknik kommer därmed att öka drivmedelsutbytet från samma mängd substrat, vilket överensstämmer med frågeställningen i detta arbete.

För att avgränsa arbetet beaktades inte de övriga flödena i Figur 10. Då glycerol endast är en bråkdel av den totala mängden producerad RME och det krävs stora mängder glycerol för att ge lönsamhet, inkluderades inte denna för rötning till biogas (Börjesson, et al., 2010; Gode, et al., 2007). Även etanol och olja från etanolprocessen till biodieselprocessen exkluderades, detta främst eftersom data för detta utbyte saknades. Även sirap från etanolprocessen ansågs vara en mindre biprodukt som därigenom inte togs med i arbetet. Flöden av värme, ånga och el från kraftvärmeprocessen till drivmedelsprocesserna är energiflöden som antogs vara etablerade redan idag och kommer därmed inte beräknas explicit som nya synergier.

#### 4.4.2 Vätgas

Mängden vätgas beräknas enligt Ekvation 14 och 15 nedan och baseras på Ekvation 8 i Avsnitt 2.6, vilken beskriver metanisering. Det antas att sammansättningen i rågasen alltid är 60 procent metan och 40 procent koldioxid även om andra gaser förekommer i mindre andelar i verkliga fall, samt att sammansättningen kan skilja beroende på substrat (Bauer, et al., 2013; Energimyndigheten, 2016b).

$$Prod_{H_2} = \frac{4 \cdot H_{H_2} \cdot (S_{1, slut, CH_4} - S_{start, CH_4})}{S_{2, slut, CH_4}} \quad (14.)$$

$$S_{2,Slut,CH_4} = S_{1,Slut,CH_4} \cdot h_{CH_4} \quad (15.)$$

där  $Prod_{H_2}$  är behov av vätgas [MWh vätgas/MWh drivmedel],  $H$  är förbränningsentalpi [MWh/kmol],  $S_{1,Slut,CH_4}$  är metaninnehållet i slutsammansättningen [kmol],  $S_{Start,CH_4}$  är metaninnehållet i startsammansättningen [kmol] och  $S_{2,Slut,CH_4}$  är metanets energiinnehåll i slutsammansättningen [MWh].

#### 4.4.3 Syrgas

Mängden producerad syrgas vid elektrolysen fås genom Ekvation 16 nedan, vilken baseras på Ekvation 7, presenterad i Avsnitt 2.5.

$$Prod_{O_2} = \frac{1}{2} \cdot \frac{M_{O_2}}{M_{H_2}} \cdot \frac{Prod_{H_2}}{e_{H_2}} \quad (16.)$$

där  $Prod_{O_2}$  är producerad mängd syre [kg/MWh drivmedel],  $M$  är molmassa [kg/kmol] och  $e_{H_2}$  är energiinnehåll [MWh vätgas/kg].

#### 4.4.4 El för vätgasproduktion och uppgradering

För att beräkna hur mycket elektricitet som krävs för produktion av vätgas via elektrolys används Ekvation 17. Verkningsgraden för elektrolysen bestämmer hur mycket vätgas som kan produceras av en viss mängd el.

$$El_{in} = \frac{Prod_{H_2}}{\lambda_{el}} \quad (17.)$$

där  $El_{in}$  är el som krävs för elektrolys [MWh/MWh drivmedel] och  $\lambda_{el}$  är verkningsgraden vid elektrolys.

Minskningen av elbehovet för uppgradering antogs vara proportionellt mot det ursprungliga elbehovet om mängden koldioxid i rågasen minskar från 40 procent till 25 procent, enligt Ekvation 18.

$$El_{min} = El_{uppgrad} \cdot \chi_{min} \quad (18.)$$



där  $El_{min}$  är minskat behov av el för uppgradering [MWh e/MWh drivmedel],  $El_{uppgrad}$  är el som normalt krävs för uppgradering [MWh el/MWh drivmedel] och  $\chi_{min}$  är andel minskat behov av el.

## 4.5 Linjärprogrammering

Linjärprogrammering har använts för att optimera biodrivmedelsproduktion med avseende på producerat drivmedel, energi, kostnadseffektivitet samt regional tillväxt. För beskrivning av linjärprogrammering hänvisas till Avsnitt 2.4. Optimeringen delades upp på Modell 1 och Modell 2, där den första modellen optimerar produktionen utan synergieffekter och den andra inkluderar synergieffekter. Syftet med denna uppdelning är att kunna jämföra hur de olika målfunktionerna påverkas i respektive fall. Därmed kommer benämningarna Modell 1 och Modell 2 vidare användas i detta arbete. I Tabell 4 presenteras de ingående parametrarna i varje optimering. De fem olika målfunktionerna,  $Z$ , maximeras i alla optimeringar.

Tabell 4. *Målfunktioner samt ingående parametrar i respektive optimering*

Optimering	Målfunktion, $Z$	Variabel, $x$	Bivillkor, $b$	Parameter, $c$
Drivmedel	Ekvation 9	Hektar, råvara	Total hektar mark, total mängd råvara	Omvandlingseffektivitet, odlingseffektivitet
Energi	Ekvation 10	Hektar, råvara	Total hektar mark, total mängd råvara	Omvandlingseffektivitet, odlingseffektivitet, energiinsats odling, värme, el
Vinst	Ekvation 11	Hektar, råvara	Total hektar mark, total mängd råvara	Omvandlingseffektivitet, odlingseffektivitet, produktionskostnad, distributionskostnad, pris biprodukt, pris drivmedel
Regional tillväxt - BRP	Ekvation 12	Hektar, råvara	Total hektar mark, total mängd råvara	Omvandlingseffektivitet, odlingseffektivitet, ökning BRP per drivmedel
Regional tillväxt – samhällsekonomiska effekter	Ekvation 13	Hektar, råvara	Total hektar mark, total mängd råvara	Omvandlingseffektivitet, odlingseffektivitet, värderade samhällsekonomiska effekter

I Modell 2 betraktas vätgas som en separat process som kan nyttjas eller inte beroende på optimering. Försäljning av spillvärme är en process som integreras i den

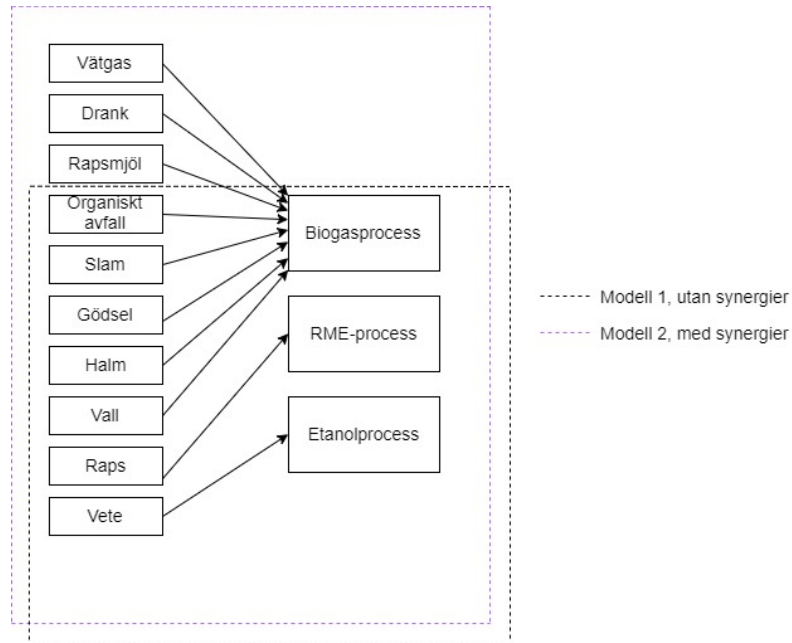
vanliga etanolprocessen då denna direkt ger en större intäkt. Därmed är denna försäljning alltid inkluderad i Modell 2 i de fall då etanol produceras. Processerna för rötning av produkterna drank och rapsmjöl betraktas som separata processer som kan nyttjas eller inte beroende på optimering.

## 4.6 Bakgrund till data

Data för tillförd energi och kostnadseffektivitet redovisas för de olika biodrivmedlen samt en uppskattning av respektive drivmedels påverkan på den regionala tillväxten. Data relaterade till identifierade synergier enligt Avsnitt 2.6.2 presenteras i separat tabell i varje delkapitel. Tillförlitliga data för HVO saknas varför detta drivmedel exkluderas från resten av arbetet.

Enligt framtagna data för biomassapotentia i kapitel 3 kunde råvaror till de olika drivmedelsprocesserna urskiljas enligt *Figur 11*. Dessa råvaror ligger till grund för data som presenteras i kommande avsnitt. För att förenkla beräkningarna exkluderades råvaran ”övriga odlingsrester” då denna potentia var låg i jämförelse med övriga i *Tabell 3*. I biogasprocessen antas alla råvaror rötas var för sig och därmed tas inte samrötning i beaktande.

Vete, raps och vall odlas redan i dag i alla regioner och dessa konkurrerar om samma areal framtagen i *Tabell 3*. Denna areal kan också komma att användas till exempelvis odling av energigräs eller salix för kraftvärmeproduktion. Då det även finns en stor potentia för ökat uttag av primära skogsbränslen görs antagandet att ingen ytterligare areal krävs för råvaror till kraftvärmeproduktion.



Figur 11. Inkluderade råvaror i Modell 1 och Modell 2.

En stor del av data i detta arbete är sammanställt från en livscykelanalys av Börjesson, et al. (2010). Detta innefattar data för tillförd energi, omvandlingseffektivitet och utsläpp. Följande avgränsningar görs i Börjesson, et al. (2010).

- Livscykelanalysen omfattar odling, insamling, transport, framställning och slutanvändning i fordon. Distribution av drivmedel beaktas inte.
- Odling av energigrödor sker på åkermark i södra Sverige.
- 1/4 av odlingen sker på gräsbevuxen mark och 3/4 sker på odlingsmark.
- Varje drivmedel produceras med "bästa möjliga teknik".
- Extern energiinsats i form av värme och el har värderats i form av primärenergi.
- Extern energiinsats innefattar även trycksättning av biogas och transport och spridning av rötrest.
- Utsläpp för svensk medel-el<sup>1</sup> antas.
- Data presenteras baserat på energiallokering samt systemexpansion. Då energiallokering användes exkluderades skörderester.

1. Med svensk medel-el avses ett medelvärde av de energikällor som används för produktion av el i Sverige (Gode, et al., 2009).

I Tabell 5 presenteras hur de inkluderade synergierna påverkar målfunktionerna vilket ligger till grund för data i kommande avsnitt. Vissa effekter försummas i syfte att förenkla modellen.

Tabell 5. Synergiernas påverkan på data

Målfunktion	Vätgas i biogasprocess	Rötning av biprodukter	Försäljning kondensat
Vinst	Ökad kostnad till följd av vätgasproduktion. Minskad kostnad för uppgradering. Intäkt vid försäljning av syrgas	Kostnader för biogasproduktion av biprodukter. Ökad försäljning av biogas	Ökad intäkt vid försäljning av kondensat
Energi	Minskad insats el för uppgradering. Ökad insats el för vätgasproduktion	Inkluderad tillförd energi och omvandlingseffektivitet för respektive biprodukt. Minskad värme då drank ej torkas till foder	Ingen påverkan på energi.
Utsläpp	Utsläpp från vätgasproduktion. Ingen hänsyn till utsläpp relaterade till minskad insats av el för uppgradering. Ej heller hänsyn till försäljning av syrgas	Biprodukter säljs ej som foder och man går miste om positiva klimat och miljöeffekter	Ingen påverkan på utsläpp
BRP	Inkluderade arbetstillfällen relaterade till vätgasproduktion. Inga arbetstillfällen relaterade till försäljning av syrgas	Inga ökade arbetstillfällen för hantering av biprodukter.	Ingen påverkan på arbetstillfällen

## 4.7 Data för energi

I detta avsnitt presenteras data för att beräkna producerad mängd drivmedel samt tillförd energi vilka delas upp på Modell 1 och Modell 2.

### 4.7.1 Modell 1

I Tabell 6 presenteras data för omvandlingseffektivitet och tillförd energi för respektive råvara och drivmedel. Data från livscykelanalysen baserat på energiallokering antogs. För halm antogs ingen energi krävas för odling då detta är en restprodukt. Då data för insatsenergi för slam saknades antogs samma energidata som för gödsel då substraten har liknande TS-halt och biogasutbyte (SGC, 2012). Halm antogs vara oberoende av uttaget av raps och vete, då det även är en restprodukt från andra spannmålsgrödor. Etanolprocessen genererar spillvärme, medan övriga processer

antogs återcirkulera värmen med hjälp av värmeväxlare. Mängden producerad rötrest inkluderas inte i Tabell 6 då denna inte har ett värde i form av energi utan snarare näringsinnehåll.

Tabell 6. *Energidata för de olika drivmedlen.*<sup>1</sup>

Råvara	Drivmedel	Omvandlingseffektivitet [% av råvara]	Insatsenergi värme/ånga [% av drivmedlet]	Insats el [% av drivmedlet]	Insatsenergi odling [MWh /ha*år]	Odlingseffektivitet [MWh råvara/ha*år]	Andel bi-produkt [MWh/M Wh drivmedel]	Spillvärme [MWh/M Wh drivmedel]
Organiskt avfall	Biogas	60	20	15	-	-	-	-
Slam <sup>2</sup>	Biogas	40	30	18	-	-	-	-
Gödsel	Biogas	40	30	18	-	-	-	-
Halm <sup>3</sup>	Biogas	40	30	18	-	-	-	-
Vall	Biogas	62	25	18	3,0	37,0	-	-
Raps	RME	60	15	6	4,0	21,7	0,354	-
Vete	Etanol	55	54	13	4,3	33,0	0,352	0,22

<sup>1</sup> Börjesson, et al. (2010)

<sup>2</sup> Antagande om samma data som för gödsel enligt försök i laboratorieskala där liknande värden som för gödsel erhöles (SGC, 2012)

<sup>3</sup> Antagen omvandlingseffektivitet lika som för gödsel enligt Scnürer (u.d.) och försök i laboratorieskala (SGC, 2012). Även insatsenergin antogs samma som för gödsel då data saknades.

#### 4.7.2 Modell 2

För att beräkna mängden vätgas som behövs för att öka metanhalten i rågasen från 60 procent till 75 procent användes data presenterad i Tabell 7.

Tabell 7. Data för beräkning av vätgasproduktion.

	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	
Molförhållande		1	1	4
Förbränningsentalpi, h <sub>c</sub> [MWh/kmol]	0,2495 <sup>1</sup>	-	0,08003 <sup>2</sup>	
Startsammansättning, [kmol/kmol]	0,6	0,4	-	
Slutsammansättning, [kmol/kmol]	0,75 <sup>3</sup>	0,25 <sup>3</sup>	-	
Verkningsgrad elektrolys				0,65 <sup>4</sup>

<sup>1</sup> National Institute of Standards and Technology (2017a)

<sup>2</sup> Samma förbränningsentalpi för vätgas som bildningsentalpi för H<sub>2</sub>O från National Institute of Standards and Technology (2017b).

<sup>3</sup> Möjlig sammansättning om 75 % enligt fallstudie presenterad i Benjaminsson, et al. (2013).

<sup>4</sup> Verkningsgrad för alkalisk elektrolys (Benjaminsson, et al., 2013)

I Tabell 8 presenteras data för beräkning av minskad el för uppgradering då koldioxidhalten i rågasen minskar. Antagandet gjordes att det endast krävs el vid uppgradering vilken används främst för att driva kompressorer, vakuumpumpar, kylmaskiner och fläktar. Även mindre delar i processen kräver el, så som exempelvis ventilationssystem samt värmare för att torka gasen (Persson, 2003).

Tabell 8. Data för beräkning av minskad el för uppgradering

Normal elinsats [MWh/MWh drivmedel]	0,06 <sup>1</sup>
Minskad andel el	0,375 <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Persson (2003).

<sup>2</sup> Antaget proportionellt mot att avlägsna 25 % istället för 40 % koldioxid.

I Tabell 9 redovisas data för omvandlingseffektivitet och tillförd energi för de identifierade synergierna. Detta innefattar tillsats av vätgas i biogasprocessen för att öka omvandlingseffektiviteten. Detta hanteras som en separat process där omvandlingseffektiviteten motsvarar den extra mängd metan som kan genereras. Dessutom inkluderas ökad biogasproduktion vid rötning av biprodukterna drank och rapsmjöl. Att dranken säljs för rötning innebär en minskad insats av värme vid etanolproduktion då dranken inte längre behöver torkas.

Tabell 9. Omvandlingseffektivitet, odlingseffektivitet och tillförd energi för de olika drivmedelsprocesserna för Modell 2

Råvara	Drivmedel	Omvandlingseffektivitet [% av råvara]	Insatsenergi värme/ånga [% av drivmedlet]	Insats el [% av drivmedlet]	Insatsenergi odling [MWh/ha*år]	Odlingseffektivitet [MWh råvara/ha*år]	Andel bi-produkt [MWh/MWh drivmedel]	Spillvärme [% a drivmedel]
Organiskt avfall + vätgas	Biogas	12,0 <sup>1</sup>	0	37,2 <sup>2</sup>	-	-	-	-
Slam + vätgas	Biogas	8,0 <sup>1</sup>	0	37,2 <sup>2</sup>	-	-	-	-
Gödsel + vätgas	Biogas	8,0 <sup>1</sup>	0	37,2 <sup>2</sup>	-	-	-	-
Halm + vätgas	Biogas	8,0 <sup>1</sup>	0	37,2 <sup>2</sup>	-	-	-	-
Vall + vätgas	Biogas	12,4 <sup>1</sup>	0	37,2 <sup>2</sup>	3,0	37,0	-	-
Raps	RME	60,0	15,0	6,0	4,0	21,7	0,354	-
Vete	Etanol	55,0	27,0 <sup>3</sup>	13,0	4,3	33,0	0,352	0,220
Drank <sup>4</sup>	Biogas	63,0	30,0	14,0	-	-	-	-
Rapsmjöl <sup>4</sup>	Biogas	80,0	20,0	14,0	-	-	-	-
Drank + vätgas	Biogas	12,6 <sup>1</sup>	0	37,2 <sup>2</sup>	-	-	-	-
Rapsmjöl + vätgas	Biogas	16,0 <sup>1</sup>	0	37,2 <sup>2</sup>	-	-	-	-

<sup>1</sup> Antog ökning av omvandlingseffektiviteten med 20 % utifrån fallstudier i Benjaminsson, et al. (2013)

<sup>2</sup> Summan av behov av el för vätgasproduktion enligt Ekvation 17 och minskade behovet av el för uppgradering enligt Ekvation 18.

<sup>3</sup> Minskad värmeenergi för torkning av drank om 50 procent enligt Börjesson, et al. (2010)

<sup>4</sup> Sammanställt från Börjesson, et al. (2013) och Börjesson, et al. (2010)

## 4.8 Data för kostnadseffektivitet

Nedan presenteras data för kostnadseffektivitet uppdelat på Modell 1 och Modell 2.

### 4.8.1 Modell 1

I Tabell 10 presenteras data för beräkning av kostnadseffektivitet. I produktionskostnad ingår bland annat råvaruhantering, kapitalkostnad, arbetskraftskostnad och driftskostnad (Energimyndigheten, 2017e; Energimyndigheten, 2013). Priset för drivmedel är priset som betalas vid anläggningen exklusive skatt och moms. Dessa

togs fram med hjälp av data i Appendix 2. Produktionskostnader är baserad på rapporter gjorda av svenska företag med olika förutsättningar och produktionsmetoder och är sammanställt från rapporter från Energimyndigheten. Distributionskostnader är medelvärden och relaterar inte till ett specifikt distributions- eller tankningssystem då information kring detta saknades. Priser för drivmedel erhöles från SPBI där priset för E85 (85 procent etanol och 15 procent bensin) omvandlades till pris för ren etanol med avseende på energiinnehåll, enligt Appendix 1.

Tabell 10. *Kostnader och priser för olika drivmedel inkluderat råvarukostnader.*

Råvara	Drivmedel	Produktionskostnad [SEK/MWh drivmedel]	Distributionskostnad [SEK/MWh drivmedel]	Pris biprodukt [SEK/MWh drivmedel]	Pris drivmedel [SEK/MWh drivmedel]
Organiskt avfall	Biogas	400,0 <sup>1</sup>	250,0 <sup>1</sup>	9,2 <sup>4</sup>	1 009,0 <sup>7</sup>
Slam	Biogas	500,0 <sup>1</sup>	250,0 <sup>1</sup>	9,2 <sup>4</sup>	1 009,0 <sup>7</sup>
Gödsel	Biogas	905,0 <sup>1</sup>	250,0 <sup>1</sup>	9,2 <sup>4</sup>	1 009,0 <sup>7</sup>
Halm	Biogas	740,0 <sup>1</sup>	250,0 <sup>1</sup>	9,2 <sup>4</sup>	1 009,0 <sup>7</sup>
Vall	Biogas	755,0 <sup>1</sup>	250,0 <sup>1</sup>	9,2 <sup>4</sup>	1 009,0 <sup>7</sup>
Raps	RME	900,0 <sup>2</sup>	132,0 <sup>3</sup>	111,0 <sup>5</sup>	882,6 <sup>7,8</sup>
Vete	Etanol	1 136,0 <sup>2</sup>	132,0 <sup>3</sup>	108,0 <sup>6</sup>	1 249,1 <sup>7,8</sup>

<sup>1</sup> Medelvärde av kostnader för distribution och försäljning enligt Energimyndigheten (2013)

<sup>2</sup> Produktionskostnad för FAME till höginblandning respektive etanol till E85 enligt Energimyndigheten (2017e). Bruttomarginalen avdragen.

<sup>3</sup> Medelvärde av kostnader för distribution och tankstationer för diesel och bensin enligt Börjesson, et al. (2013), omräknat per energiinnehåll

<sup>4</sup> Energimyndigheten (2017c)

<sup>5</sup> Bernesson (2007)

<sup>6</sup> Nilsson (2006)

<sup>7</sup> Svenska Petroleum och Biodrivmedel Institutet (2017)

<sup>8</sup> Bruttomarginalen enligt Energimyndigheten (2017e) lades till priset då detta inte var inräknat

#### 4.8.2 Modell 2

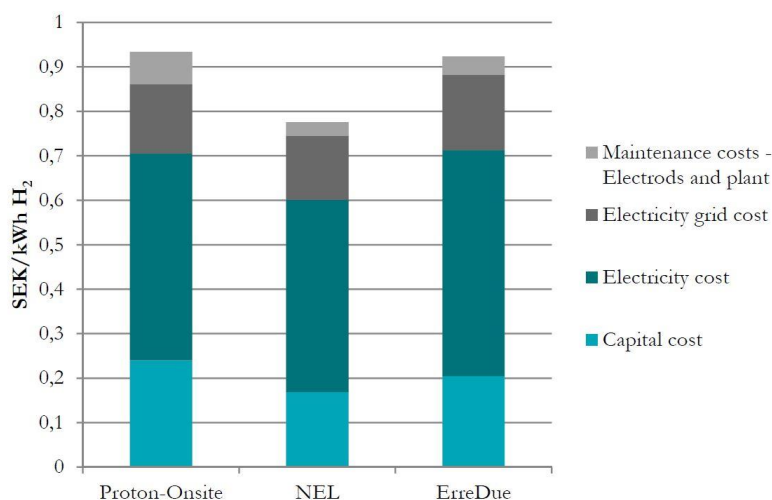
I Tabell 11 redovisas de data som använts för att beräkna mängden syrgas vid elektrolys. Mängden syrgas genererar en ökad intäkt vid försäljning och påverkar därmed vinsten. Kostnaden för vatten som används till elektrolys försummas.



Tabell 11. Data för beräkning av mängd syrgas vid elektrolys

	H <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>
Molförhållande	1	2
Molmassa [kg/kmol]	2,006	32,000

Kostnaden för vätgasproduktion illustreras i *Figur 12*. Kostnaden för elektricitet är en stor del av den totala kostnaden - ungefär 600 SEK per MWh vätgas. Produktionskostnaden antogs utifrån figuren till 900 SEK per MWh vätgas. Nikolaidis & Poullikkas (2017) har publicerat liknande kostnadsintervall för vätgasproduktion med elektrolys.



*Figur 12.* Kostnad för vätgasproduktion enligt fallstudier från olika företag (Benjaminsson, et al., 2013).

I Tabell 12 presenteras data för beräkning av kostnadseffektivitet i Modell 2. Precis som tidigare betraktades vätgas som en egen process som motsvarar den ökade mängden metan. I produktionskostnader innefattas dels kostnader för att producera vätgasen och även minskade kostnader som uppstår vid minskat behov av uppgradering. Ökade intäkter innefattar försäljning av spillvärme samt intäkter vid försäljning av syrgas från vätgasprocessen. Det uppstår minskade kostnader när drank inte kräver torkning i etanolprocessen. Relaterade kostnader för rötning av drank och rapsmjöl presenteras även.

Tabell 12. *Kostnader och priser för olika drivmedel för Modell 2.*

Råvara	Drivmedel	Produktionskostnad [SEK/MWh drivmedel]	Distributionskostnad [SEK/MWh drivmedel]	Pris biprodukt [SEK/MWh drivmedel]	Pris drivmedel [SEK/MWh drivmedel]
Organiskt avfall + vätgas	Biogas	218,5 <sup>1</sup>	250,0	32,4	1 009,0
Slam + vätgas	Biogas	218,5 <sup>1</sup>	250,0	32,4	1 009,0
Gödsel + vätgas	Biogas	218,5 <sup>1</sup>	250,0	32,4	1 009,0
Halm + vätgas	Biogas	218,5 <sup>1</sup>	250,0	32,4	1 009,0
Vall + vätgas	Biogas	218,5 <sup>1</sup>	250,0	32,4	1 009,0
Raps	RME	900,0	132,0	111,0	480,8
Vete	Etanol	982,0 <sup>2</sup>	132,0	128,6 <sup>3</sup>	1 249,1
Drank	Biogas	725,0 <sup>4</sup>	250,0	32,4	1 009,0
Rapsmjöl	Biogas	725,0 <sup>4</sup>	250,0	32,4	1 009,0
Drank + vätgas	Biogas	218,5 <sup>1</sup>	250,0	32,4	1 009,0
Rapsmjöl + vätgas	Biogas	218,5 <sup>1</sup>	250,0	32,4	1 009,0

<sup>1</sup> Minskad produktionskostnad vid minskat behov av uppgradering med elpriset 553 SEK/MWh el (Energimyndigheten, 2017d) ger en besparing på 12,5 SEK/MWh drivmedel. Ökad kostnad till följd av vätgasproduktion om 231 SEK/MWh drivmedel med ett produktionspris om 900 SEK/MWh vätgas (Benjaminsson, et al., 2013).

<sup>2</sup> Minskad produktionskostnad till följd av minskad insatsenergi för torkning av drank. Värmepriset antogs till 331 SEK/MWh värme (Vattenfall, 2017) vilket medför en minskad kostnad om 54 SEK/MWh etanol.

<sup>3</sup> Ökad intäkt vid försäljning av condensat. Med 6,15 procent condensat av energiinnehållet i den producerade etanolen (Hagberg, 2008) och med ett värmepris om 331 SEK/MWh värme (Vattenfall, 2017) ges ökade intäkter om 20,4 SEK/MWh etanol.

<sup>4</sup> Antagen produktionskostnad för industriavfall enligt Energimyndigheten (2013)

## 4.9 Data för regional tillväxt

I detta avsnitt har den regionala tillväxten uppskattats för de olika drivmedlen baserat på arbetstillfällena och dess bidrag till BRP samt det samhällsekonomiska värdet i minskade klimat- och miljöeffekter.

### 4.9.1 Arbetstillfällena och BRP

Arbetstillfällena presenteras uppdelat på data för Modell 1 och Modell 2. För Modell 2 inkluderas endast arbetstillfällena relaterade till vätgasproduktion som tidigare presenterat i Tabell 5.

#### *Modell 1*

Regionala tillväxten kopplad till arbetstillfällena och BRP uppskattades utifrån presenterade resultat för biogas enligt tidigare studie (Waluszewski, et al., 2011). I

studien utnyttjas rAps-modellen, vilket är ett verktyg som kan användas för att beräkna samhällseffekter i en region relaterade till produktion av en vara, i detta fall biogas. Resultatet från rAps-modellen innefattar direkta, indirekta och inducerade effekter vilket exempelvis motsvarar direkta arbetstillfällen, indirekta arbetstillfällen samt ekonomiska spridningseffekter. Denna modell baserades på indata i form av direkta arbetstillfällen vid produktion av biogas i länen Stockholm, Södermanland, Uppsala, Västmanland, Örebro och Östergötland. Det finns i resultatet ingen direkt koppling till specifika substrat som används i biogasprocessen eller hur sysselsättningen skiljer sig beroende på vilket substrat som används. I studien antas att arbetskraft finns tillgänglig och påverkan på regioner utanför den undersökta beaktas inte (Waluszewski, et al., 2011). Då inga lika detaljerade studier för etanol och RME gjorts måste arbetstillfällen relaterat till dessa drivmedel uppskattas. Hur denna uppskattning påverkar resultatet analyseras genom en känslighetsanalys vilken presenteras närmare i Avsnitt 4.10.

För att uppskatta skapade arbetstillfällen jämfördes arbetsintensiteten för biogas enligt studien med etanol och RME. Baserat på tillverkningsprocessernas komplexitet i förhållande till biogas kunde arbetstillfällen uppdelat på direkta och indirekta arbeten uppskattas. Dessutom användes statistik från befintliga anläggningar i Sverige. Därefter kunde direkta och indirekta arbetstillfällens produktivitet summeras för att beräkna den totala ökningen av BRP för respektive drivmedel.

För biogas krävs förbehandling i flera steg vilket kräver tillgång till tankar, krossar och ibland även utrustning för upphettning vid hygienisering (Avfall Sverige, 2013). Röttningsprocessen innefattar rötchammare med uppvärmning, omrörning och värmeväxlare. Därefter tillkommer behandling av rötresten (Jarvis & Schnürer, 2009) samt utrustning för uppgradering och trycksättning av gasen (Bauer, et al., 2013). Etanolprocessen kräver mindre förbehandling då den ingående råvaran är relativt homogen från början och enbart behöver krossas. Etanolprocessen innefattar därefter likvifiering, jäsning samt destillering. Även här krävs behandling av biprodukten vilket främst innefattar torkning (Paulsson, 2007). Precis som för etanolprocessen är råvaran vid RME-produktion mer homogen än substratet till biogas och kräver därmed enklare förbehandling vilket beskrevs i Avsnitt 2.5.3. RME-processen innefattar vidare transesterifiering vilket bedöms vara något enklare process än jäsning och destillering.

Med denna bakgrund antogs arbetskraftintensiteten för etanol och RME som en andel av arbetskraftintensiteten för biogas vilket presenteras utförligt i Tabell 13. De olika arbetstillfällena delades upp på produktion av anläggning, arbetskraft vid an-

läggning, avloppsreningsverk, företagsstöd, avfallshantering/deponi, kollektivtrafik, offentlig sektor samt forskning. För att uppskatta hur många som arbetar vid produktion av anläggningen gjordes antagandet att etanol-processen kräver 80 procent av arbetskraften för biogas. Därefter antogs att produktion av RME-anläggningen kräver 70 procent av arbetskraften för biogas. Arbetskraft vid anläggning uppskattades genom att anta ett medelvärde mellan data för anställda på Ecobränsle och Agroetanol och den uppskattade andelen 80 procent respektive 70 procent. Kategorierna avfallshantering och kollektivtrafik för etanol och RME antogs kräva samma arbetskraftsintensitet som biogasbranschen. Även för kategorierna företagsstöd, offentlig sektor och forskning antogs samma arbetskraftsintensitet som för biogas. Anställda vid avloppsreningsverk antogs till noll för etanol och RME då denna verksamhet endast relaterar till biogas för rötning av avloppsslam. I Tabell 13 presenteras den uppskattade direkta arbetskraftintensiteten för de olika drivmedlen uppdelat på olika verksamheter.

Tabell 13. Uppskattad direkt arbetskraftsintensitet för olika drivmedel uppdelat på verksamhetstyper, antal sysselsatta per GWh drivmedel.

Verksamhet	Biogas <sup>1</sup>	Etanol	RME
Produktion anläggning	0,179	0,143 <sup>2</sup>	0,125 <sup>3</sup>
Anläggning	0,273	0,144 <sup>4</sup>	0,102 <sup>5</sup>
Avloppsreningsverk	0,005	0,000 <sup>6</sup>	0,000 <sup>6</sup>
Företagsstöd	0,127	0,127 <sup>7</sup>	0,127 <sup>7</sup>
Avfallshantering/deponi	0,016	0,016 <sup>7</sup>	0,016 <sup>7</sup>
Kollektivtrafik	0,007	0,007 <sup>7</sup>	0,007 <sup>7</sup>
Offentlig sektor	0,012	0,012 <sup>7</sup>	0,012 <sup>7</sup>
Forskning	0,030	0,030 <sup>7</sup>	0,030 <sup>7</sup>
<b>SUMMA</b>	0,649	0,479	0,419

<sup>1</sup> Data för biogas från Waluszewski, et al. (2011). Antar samma intensitet när vätgas ingår i biogasprocessen.

<sup>2</sup> Uppskattat till 80 % av sysselsättningen för biogas.

<sup>3</sup> Uppskattat till 70 % av sysselsättningen för biogas.

<sup>4</sup> Medelvärde av 80 % av sysselsättningen för biogas och data för anställda enligt Alla Bolag (2016a) fördelat på producerat drivmedel enligt Energimyndigheten (2013).

<sup>5</sup> Medelvärde av 70 % av sysselsättningen för biogas och data för anställda enligt Alla bolag (2016b) fördelat på producerat drivmedel enligt Ecobränsle (u.d.).

<sup>6</sup> Antaget till 0 då avloppsslam endast används i biogasprocessen.

<sup>7</sup> Antas motsvara samma sysselsättning som för biogas.

Vidare antogs de olika arbetskraftskategorierna fördelas på olika branscher med olika produktivitet för att kunna beräkna ökningen av BRP. Detta presenteras i Tabell 14.

Tabell 14. *Genomsnittlig produktivitet för direkt sysselsatta i ett antal branscher*<sup>1</sup>

Bransch	Verksamhet	Produktivitet [SEK/sysselsatt]
El-, gas- och värmeverk	Produktion, drift, avloppsreningsverk	2 313 856
Vägtransporter	Kollektivtrafik	528 262
Företags tjänster	Företagsstöd, avfallshantering, forskning	640 802
Administration	Offentlig sektor	307 411

<sup>1</sup> Data från Waluszewski, et al. (2011) baserat på statistik från SCB.

För att uppskatta det indirekta antalet sysselsatta antogs ett medelvärde av kvoten mellan de indirekt sysselsatta och direkt sysselsatta enligt Waluszewski, et al. (2011). Detta resulterade i att de indirekt sysselsatta motsvarade ungefär 30 procent av de direkt sysselsatta. De indirekta arbetstillfällena presenteras i Tabell 15. Vidare presenteras det totala antalet arbetstillfällen samt vad dessa motsvarar i ökad BRP i Tabell 16. Antal arbetstillfällen för biogas och etanol skiljer något från tidigare studier, vilka presenterades i Avsnitt 2.3.

Tabell 15. *Uppskattade indirekt sysselsatta samt uppskattad produktivitet.*

Drivmedel	Indirekt sysselsatt [antal per GWh] <sup>1</sup>	Produktivitet [SEK/sysselsatt] <sup>2</sup>
Biogas	0,195	635 000
Etanol	0,144	635 000
RME	0,126	635 000

<sup>1</sup> Antaget till 30 % av de direkt sysselsatta för respektive drivmedel

<sup>2</sup> Produktiviteten enligt biogas i Waluszewski, et al. (2011). Denna produktivitet antogs samma för alla drivmedel.

Tabell 16. *Totala arbetstillfällen och ökad BRP per producerad mängd drivmedel.*

Drivmedel	[Arbetstillfälle/GWh drivmedel]
Biogas	0,844
Etanol	0,623
RME	0,545

## Modell 2

Uppskattade arbetstillfällen relaterade till vätgasproduktion redovisas i detta avsnitt, vilka presenteras i Tabell 17. Då information kring arbetskraftsintensiteten saknades för denna process uppskattades arbetstillfällen på liknande sätt som tidigare. För både avloppsreningsverk och avfallshantering antogs arbetstillfällen till noll. Produktion och drift av anläggning antogs till 50 % av intensiteten för biogas såväl som arbetstillfällen i kollektivtrafik. Detta antogs då tekniken för elektrolys är enklare. Processen sker med hjälp av en elektrolysör och innefattar inte lika många steg som

biogasprocessen (Wallmark, et al., 2014; Zeng & Zhang, 2010). Övriga verksamheter antogs till samma som arbetstillfällena för biogas.

Tabell 17. *Direkta arbetstillfällena för vätgasproduktion*

Verksamhet	[Arbetstillfällena/GWh]
Produktion anläggning	0,090
Anläggning	0,136
Avloppsreningsverk	0,000
Företagsstöd	0,127
Avfallshantering/deponi	0,016
Kollektivtrafik	0,007
Offentlig sektor	0,012
Forskning	0,030
<b>SUMMA</b>	<b>0,418</b>

Produktivitet för direkt sysselsatta fördelat på bransch gäller enligt Tabell 14. Även i detta fall antas indirekta arbetstillfällena motsvara 30 procent av direkta arbetstillfällena och samma produktivitet som tidigare antas för dessa. Detta presenteras i Tabell 18 nedan.

Tabell 18. *Indirekta arbetstillfällena för vätgasproduktion och dess ökning av BRP*

Arbetstillfällena [antal/GWh]	0,125
Produktivitet [SEK/GWh]	635 000

#### 4.9.2 Klimat- och miljöeffekter

Som beskrivet i Avsnitt 4.3.2 kvantifierades koldioxidutsläpp, försurning, övergödning och partikelutsläpp vilka främst baseras på data från en livscykelanalys av Börjesson, et al. (2010). De utsläpp som inkluderades i livscykelanalysen var CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, HC, NO<sub>3</sub>, PO<sub>4</sub>, lustgas och partiklar. Dessa utsläpp omvandlades sedan till kategorierna CO<sub>2</sub>-ekvivalenter, SO<sub>2</sub>-ekvivalenter, PO<sub>4</sub>-ekvivalenter samt partiklar. Vid optimering antogs CO<sub>2</sub>-ekvivalenter generera globala effekter medan SO<sub>2</sub>-ekvivalenter, PO<sub>4</sub>-ekvivalenter och partiklar genererar regionala effekter enligt Trafikverket (2016).

I Modell 2 baseras data för de minskade klimat- och miljöeffekterna på systemexpansion. Detta innebär att klimat- och miljöeffekter för de biprodukter som ersätter en produkt på marknaden inräknas. För etanol och RME görs antagandet att drank,

rapsmjöl och glycerol säljs till djurfoder och ersätter därmed importerat sojafoder och foderkorn och dess klimat- och miljöeffekter. Vid biogasproduktion ersätter rötresten mineralgödsel. Vid fallet med synergier gäller samma allokering för biogas. Samma utsläppsdata används för etanol och RME medan systemexpansion används för drank och rapsmjöl. Detta innebär att drank och rapsmjöl inte längre används som foder och dessa mängder måste därmed ersättas av annat foder. Effekterna av detta räknas in (Börjesson, et al., 2010; Tufvesson & Lantz, 2012). Anledningen till att systemexpansion används för etanol och RME även vid synergier är för att dessa gäller om modellen väljer att inte röta drank och vätgas. Om de däremot rötas kommer biprodukternas utsläpp inkludera effekterna av att inte ersätta foder på marknaden. I Tabell 19 ges en översikt över vilka allokeringmetoder som ligger till grund för data för klimat- och miljöeffekter. Klimat- och miljöeffekter på grund av minskad värmeinsats då dranken i etanolprocessen inte torkas försumrades.

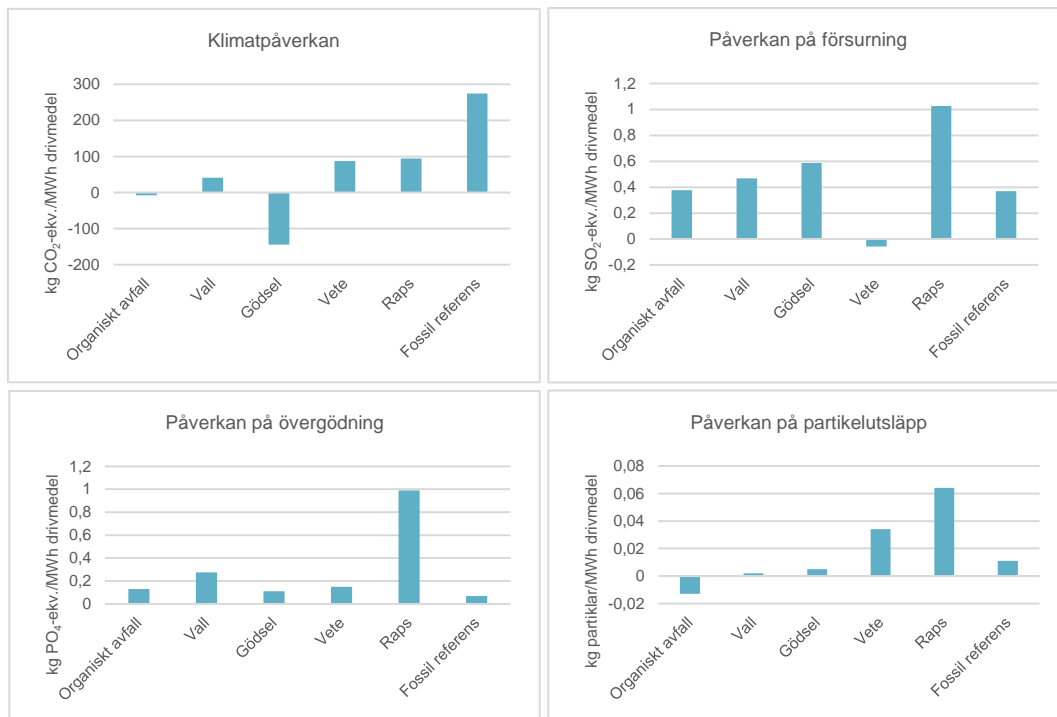
Tabell 19. Allokeringmetoder vid data för utsläpp, Modell 1 och 2.

Drivmedel	Modell 1	Modell 2
Biogas	Rötrest ersätter mineralgödsel	Rötrest ersätter mineralgödsel
Etanol	Drank ersätter djurfoder och halm ersätter skogsflis vilket gynnar etanolen	Samma allokering för etanol som i Modell 1
RME	Rapsmjöl ersätter djurfoder, glycerol ersätter fossila och biobaserade kemikalier och halm ersätter skogsflis vilket gynnar RME	Samma allokering för RME som i Modell 1
Drank	-	Drank ersätter inte foder
Rapsmjöl	-	Rapsmjöl ersätter inte foder

### Modell 1

Utsläppen summerades för olika drivmedel utan synergier enligt tillvägagångssätt presenterat i Avsnitt 4.3.2. I Börjesson, et al. (2010) erhöles data för biogas från organiskt avfall, vall och gödsel. Därför uppskattades data för utsläpp för halm och slam till samma värde som för organiskt avfall då båda är restprodukter, detta trots att egenskaperna varierar mellan dessa råvaror. Utsläpp inkluderade även användning i fordon uppdelat på om drivmedlet används för lätt eller tungt fordon. För att uppskatta detta utsläpp antogs enligt Tufvesson, et al. (2013) att 72 procent av utsläppen sker med personbil och 28 procent med lastbil. Generellt genereras större utsläpp i tyngre fordon (Börjesson, et al., 2010). För detaljerade data hänvisas till Appendix 3. För att beräkna ett medelvärde av utsläppen från användning av diesel och bensin användes samma antagande som tidigare om tunga och lätta fordon, det vill säga att 72 procent av utsläppen från bensin och 28 procent av utsläppen från diesel adderades. Alltså görs antagandet att alla tunga fordon går på diesel och alla lätta fordon går på bensin. Dessa värden presenteras som *fossil referens* tillsammans

med övriga utsläpp i *Figur 13*. Fossil referens genererar störst utsläpp av CO<sub>2</sub> medan produktion och användning av RME ger störst utsläpp av SO<sub>2</sub>, PO<sub>4</sub> och partiklar. Rötning av gödsel ger en minskad klimatpåverkan eftersom metanläckage vid konventionell gödsellagring minskar (Börjesson, et al., 2010).

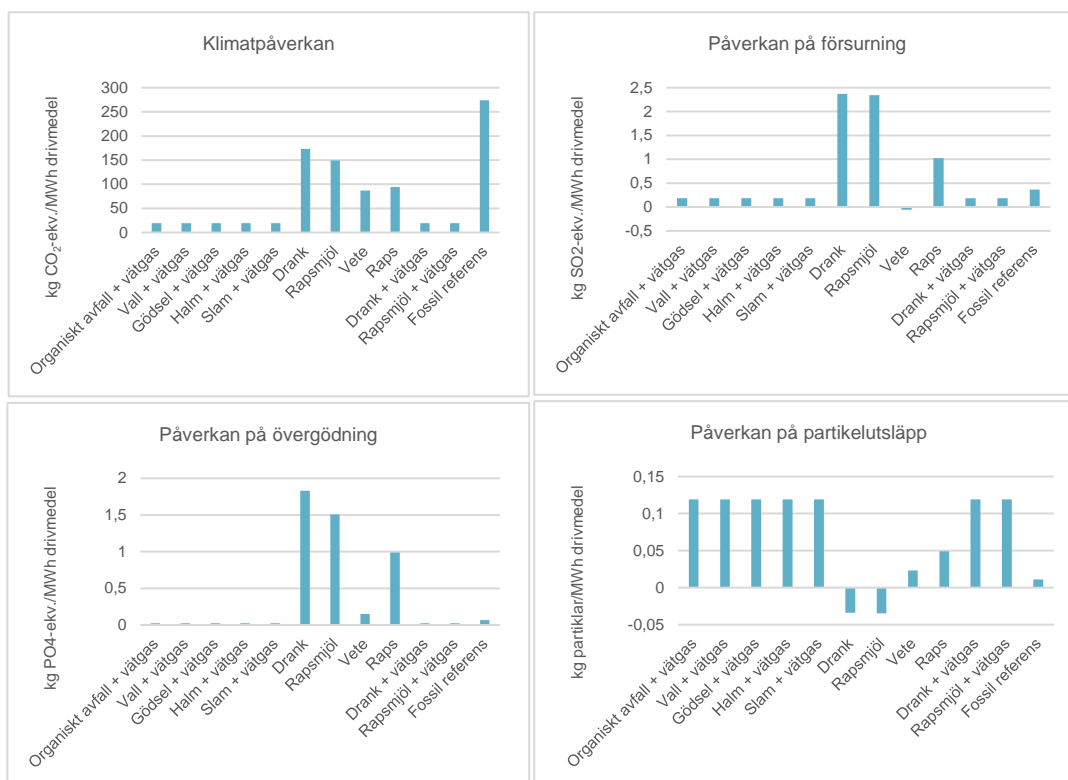


*Figur 13.* Utsläpp av CO<sub>2</sub>-ekvivalenter, SO<sub>2</sub>-ekvivalenter, PO<sub>4</sub>-ekvivalenter samt partiklar för drivmedel av olika råvaror utan synergier.

### Modell 2

För att uppskatta utsläpp vid vätgasproduktion användes data för elektrolys med biomassa som ingående bränsle för elproduktionen. Utsläpp från vätgasproduktion relaterades till mängden vätgas som behövs i biogasprocessen varför dessa kan uttryckas per MWh drivmedel. Lika mycket vätgas tillsätts biogasprocessen oavsett substrat varför dessa utsläpp är samma för alla processer. Då biprodukter från RME- och etanolproduktion rötas istället för att säljas som foder inkluderas effekter av detta i utsläpp vid rötning av drank och rapsmjöl. Detaljerade data återfinns i Appendix 3. Sammanställda data för utsläpp för Modell 2 presenteras i *Figur 14*. Alla substrat som blandas med vätgas har samma utsläpp, enligt tidigare resonemang, då samma mängd vätgas tillsätts. Även här medför fossil referens högst koldioxidutsläpp medan drank och rapsmjöl medför högst utsläpp av SO<sub>2</sub> och PO<sub>4</sub>. Partikelutsläppen för vätgasprocesserna är relativt höga.





Figur 14. Utsläpp av CO<sub>2</sub>-ekvivalenter, SO<sub>2</sub>-ekvivalenter, PO<sub>4</sub>-ekvivalenter samt partiklar för drivmedel av olika råvaror med synergier.

För att värdera varje effekt och beräkna de samhällsekonomiska kostnaderna användes Trafikverkets guide och riktvärden för olika utsläpp och påverkan från transportsektorn (Trafikverket, 2016). För utsläpp av PO<sub>4</sub>-ekvivalenter saknades värde i Trafikverkets rapport och därför användes ett värde från Vogtländer & Hendriks (2004) vilket baseras på kostnaden för att undvika detta utsläpp. De använda riktvärdena presenteras i Tabell 20.

Tabell 20. Riktvärden för att värdera klimat- och miljöeffekter

Utsläpp	Ekonomisk värdering [kr/kg]
CO <sub>2</sub> -ekv.	1,14 <sup>1</sup>
SO <sub>2</sub> -ekv.	123 <sup>2</sup>
PO <sub>4</sub> -ekv	30,5 <sup>3</sup>
Partiklar (PM <sub>2,5</sub> )	3 210 <sup>4</sup>

<sup>1</sup> Baserat på koldioxidskatt, Trafikverket (2016)

<sup>2</sup> Regionala och lokala effekter för referensort Kristianstad enligt Trafikverket (2016)

<sup>3</sup> Vogtländer & Hendriks (2004)

<sup>4</sup> Lokala effekter för referensort Kristianstad enligt Trafikverket (2016)

## 4.10 Känslighetsanalys

För att analysera modellen samt identifiera hur indata påverkar resultatet genomfördes en känslighetsanalys. Parametrar varierades enligt Tabell 21. Detaljerad beskrivning återfinns i Avsnitt 5.7 där resultatet av analysen presenteras.

I Benjaminsson, et al. (2013) lyfter författarna fram möjligheten till att minska produktionskostnaden för vätgas genom att elektrolysanläggningen lokaliseras i anslutning till kraftvärmeanläggningen där elen produceras. På så sätt undviks nätavgiften och produktionskostnaden kan minskas med ungefär 0,15 SEK per kWh enligt *Figur 12*, vilket därmed inkluderades som en del i känslighetsanalysen. Produktionskostnaden för drivmedel är en annan parameter som varierades i känslighetsanalysen i syfte att undersöka hur denna påverkar resultatet vid optimering av vinst och hur drivmedelsproduktionen då förändras. Därtill ändrades antal arbetstillfällen för etanol och RME i förhållande till biogas. Syftet med detta var att undersöka hur stor påverkan indata har på resultatet vid optimering av BRP. Vidare ökades insamlingen av matavfall till 80 respektive 100 procent utsorteringsgrad istället för en 50 procent utsortering. Detta gjordes för att undersöka utsorteringsgradens effekt på maximal mängd drivmedel som kan produceras. Ytterligare en parameter som varierades var den potentiella arealen för produktion av åkerbränslen. Syftet med denna analys är att se arealens påverkan på den totala mängden producerat drivmedel. Till sist inkluderades en minskning av partikelutsläpp vid vätgasproduktion och dess påverkan på dels samhällsekonomiska effekter men även direkt vinst.

Tabell 21. Parametrar som varierades vid känslighetsanalys för Modell 1 och 2.

Parameter	Ändring
Nätavgift elektrolys	-150 SEK/MWh vätgas <sup>1</sup>
Produktionskostnad drivmedel	± 20%
Arbetstillfällen etanol och RME	100 % samt 150 % av arbetstillfällen för biogas
Insamling matavfall	Ökning till 80 % respektive 100 %
Potentiell areal	±20 %
Utsläpp	Minskning av partikelutsläpp för vätgas

<sup>1</sup> Benjaminsson, et al. (2013)

## 5 Resultat

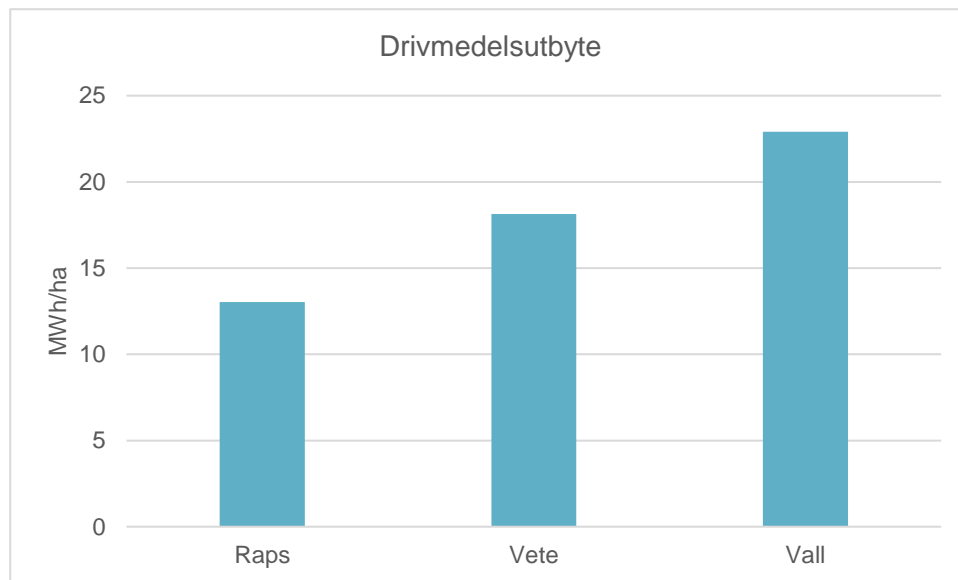
I detta kapitel presenteras först en jämförelse mellan de tre grödorna i studien och hur målfunktionerna skiljer sig per hektar, Avsnitt 5.1. Därefter presenteras resultatet av optimeringen i Avsnitt 5.2 till 5.6 följt av utfallet från känslighetsanalysen som presenteras i Avsnitt 5.7. Optimeringen genomfördes, som tidigare presenterat, enligt Tabell 4 med fem olika målfunktioner. Resultatet för optimeringen delas in i producerat drivmedel, energi, direkt vinst, bruttoregionalprodukt och samhällsekonomiska effekter. Resultatet för Modell 1 och Modell 2 presenteras under samma rubrik men i olika figurer.

I kapitlet besvaras följande frågeställningar:

- Frågeställning 2: *Vad har olika drivmedel för energi- och kostnadseffektivitet på kort respektive lång sikt?*
- Frågeställning 3: *Hur stor är potentialen för produktion av förnybara drivmedel i länen?*
- Frågeställning 5: *Hur påverkas omsättningen i regionen om förnybart, regionalt tillverkat drivmedel ersätter fossilt drivmedel?*
- Frågeställning 6: *Vad finns det för motsättningar mellan nettoenergi och kostnadseffektivitet?*

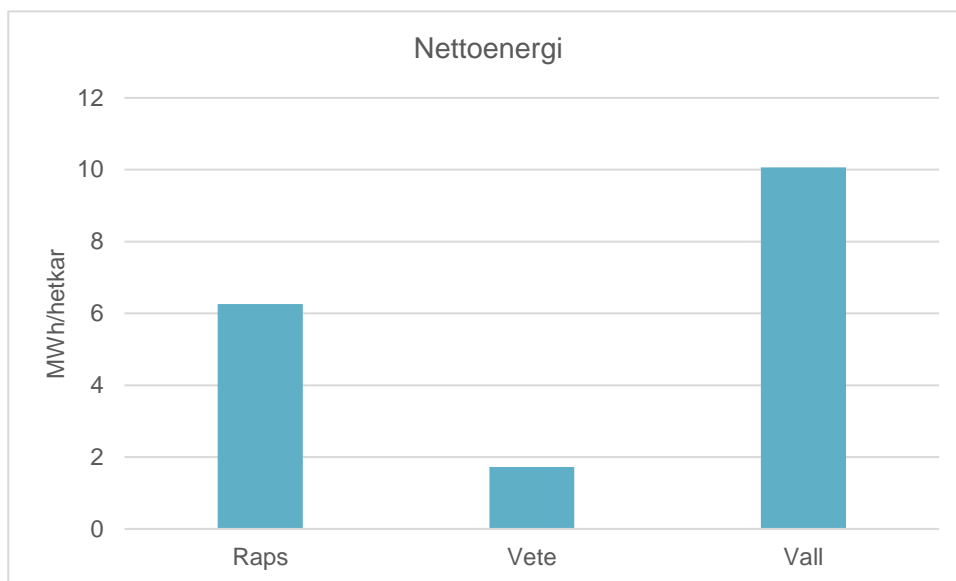
## 5.1 Jämförelse per hektar

I detta avsnitt presenteras hur de olika målfunktionerna skiljer sig när en hektar mark används för att odla raps, vete eller vall för att producera RME, etanol respektive biogas. Dessa resultat ligger till grund för resultaten i kommande avsnitt. I *Figur 15* kan ses hur mycket drivmedel av RME, etanol och biogas som kan produceras på en hektar. Vall ger mest drivmedel per hektar följt av vete och därefter raps.



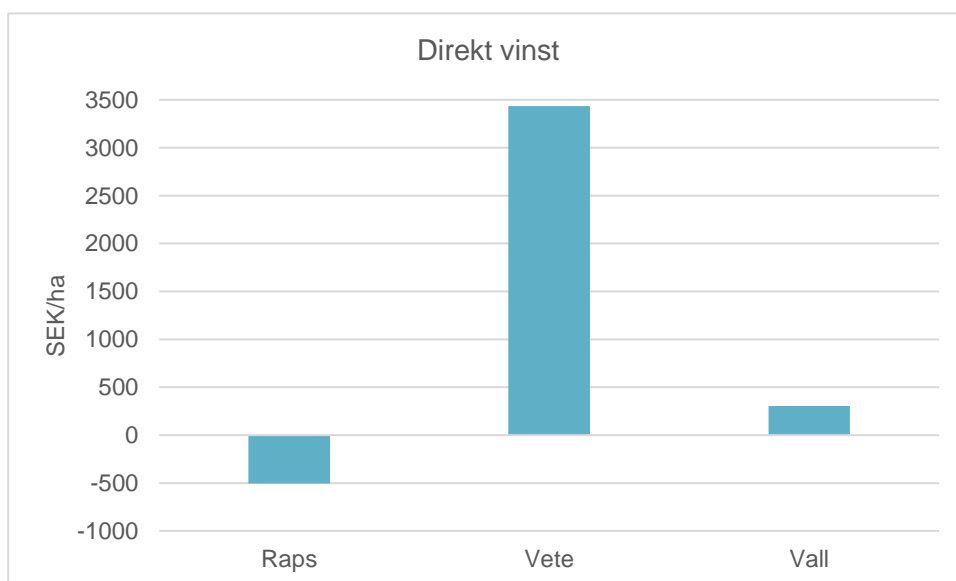
*Figur 15.* Drivmedelsutbyte per hektar.

Vidare, i *Figur 16*, presenteras skillnad mellan utgående och tillförd energi för de tre grödorna. Här är vall den gröda som ger mest drivmedel i förhållande till tillförd energi i form av värme och el samt energi för odling. Därefter är raps den gröda som ger mest drivmedel i förhållande till tillförd energi och sist är vete.



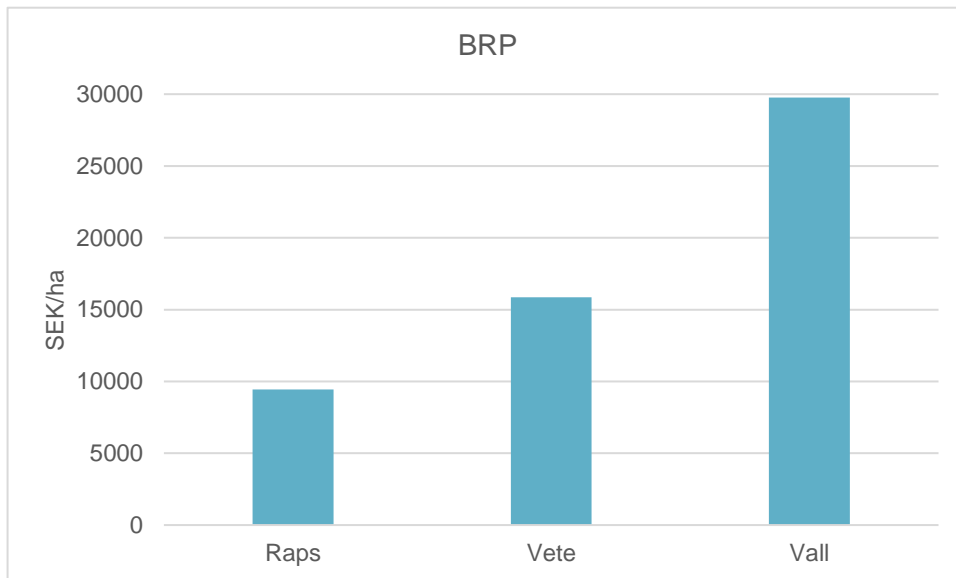
Figur 16. Skillnad mellan energi i drivmedel och tillförd energi per hektar.

I Figur 17 ses hur direkt vinst per hektar skiljer sig mellan grödorna. Odling av vete ger en betydligt större direkt vinst än både odling av vall och raps, för raps blir det till och med en förlust på 500 SEK per hektar.



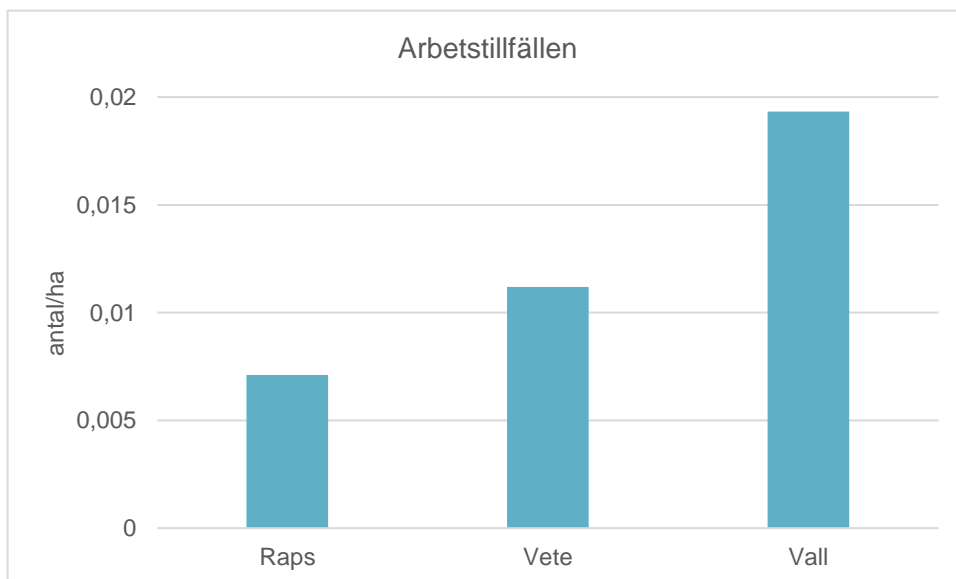
Figur 17. Direkt vinst per hektar.

Skillnad i BRP per hektar presenteras i *Figur 18*. Odling av vall för biogasproduktion ger störst bidrag till BRP följt av vete, som ger ungefär hälften så stort bidrag. Raps ger minst BRP.



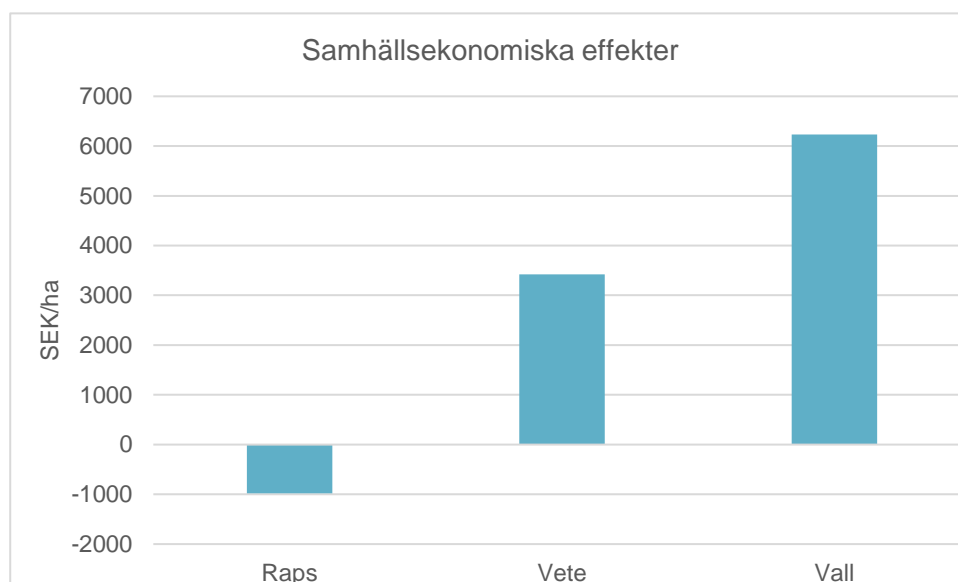
*Figur 18.* BRP per hektar.

Arbetsstillfällena per hektar presenteras i *Figur 19*. Eftersom arbetsstillfällena är proportionellt mot BRP kan samma mönster ses som i *Figur 18*.



*Figur 19.* Antal arbetsstillfällena per hektar.

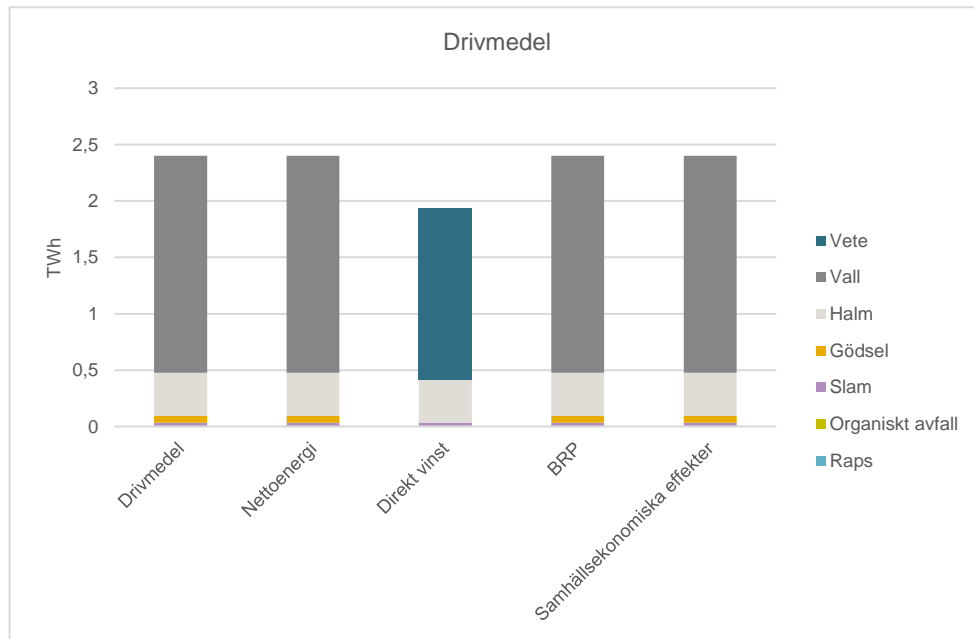
Skillnad i samhällsekonomiska effekter vid odling av en hektar mark presenteras i *Figur 20*. Vall ger störst samhällsekonomisk vinst följt av vete. Raps ger en negativ samhällsekonomisk effekt eftersom nettoutsläppen är sämre än fossil referens.



*Figur 20.* Samhällsekonomiska effekter per hektar.

## 5.2 Producerat drivmedel

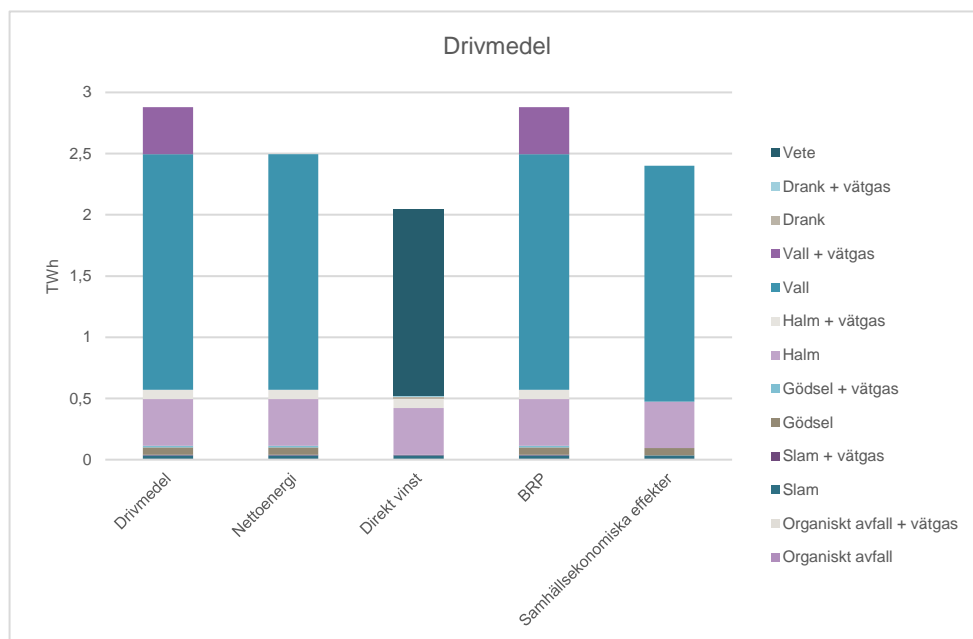
I *Figur 21* illustreras mängden producerat drivmedel i Modell 1 uppdelat på råvara vid de fem olika optimeringarna. Samma mängd drivmedel produceras vid optimering av drivmedel, energi, BRP och samhällsekonomiska effekter. I Avsnitt 4.6 gavs en översikt över vilka råvaror som hör till vilket drivmedel. Observera att RME inte produceras i någon av optimeringarna, vilket kan ses eftersom råvaran raps inte utnyttjas. Etanol produceras endast vid optimering av direkt vinst där en total mängd drivmedel om knappt 2 TWh drivmedel produceras, inklusive biogas. Övriga optimeringar ger en total mängd om 2,4 TWh drivmedel och i dessa fall produceras endast biogas. Dessa sammanfaller eftersom biogas presterar bäst både vad gäller energi, BRP och samhällsekonomiska effekter i jämförelse med de andra drivmedlen. Vall är den råvara som bidrar med störst mängd drivmedel, men denna råvara utnyttjas inte vid optimering av direkt vinst. Inte heller gödsel nyttjas vid optimering av direkt vinst. Halm är en viktig råvara som står för knappt 0,5 TWh drivmedel och denna nyttjas i varje optimering.



Figur 21. Producerat drivmedel vid olika optimeringar fördelat på råvara, Modell 1.

Mängden producerat drivmedel i Modell 2 presenteras i *Figur 22*. Notera även här att RME inte produceras vid någon av optimeringarna. Etanol produceras endast vid optimering av direkt vinst och i detta fall rötas även dranken tillsammans med vätgas. De råvaror som nyttjas i alla optimeringar är organiskt avfall, slam och halm, vilka ingår i biogasprocessen. Varken vall eller gödsel nyttjas vid optimering av direkt vinst. Vätgas tillsätts i alla optimeringar utom vid optimering av samhällsekonomiska effekter. Vid optimering av energi tillsätts dock inte vätgas när vall rötas.

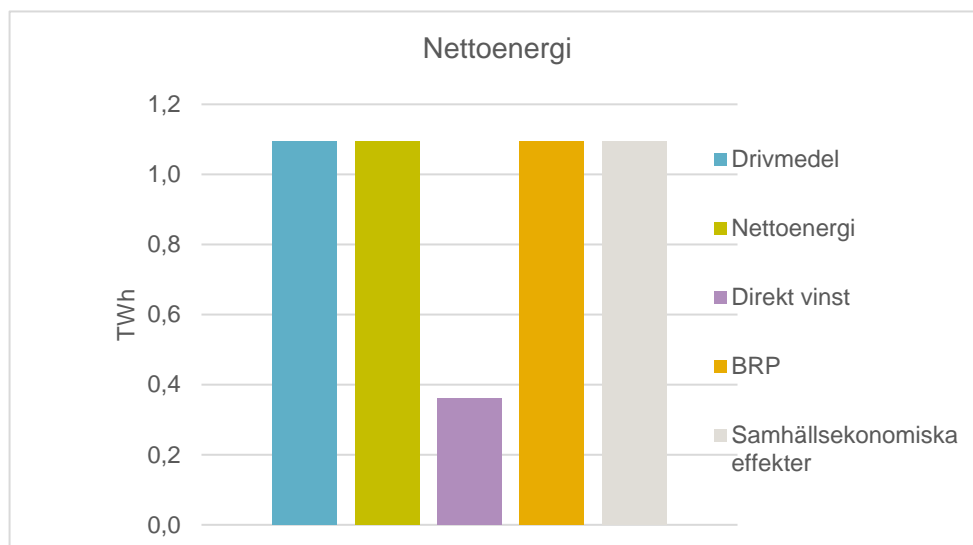




Figur 22. Producerat drivmedel vid olika optimeringar fördelat på råvara, Modell 2.

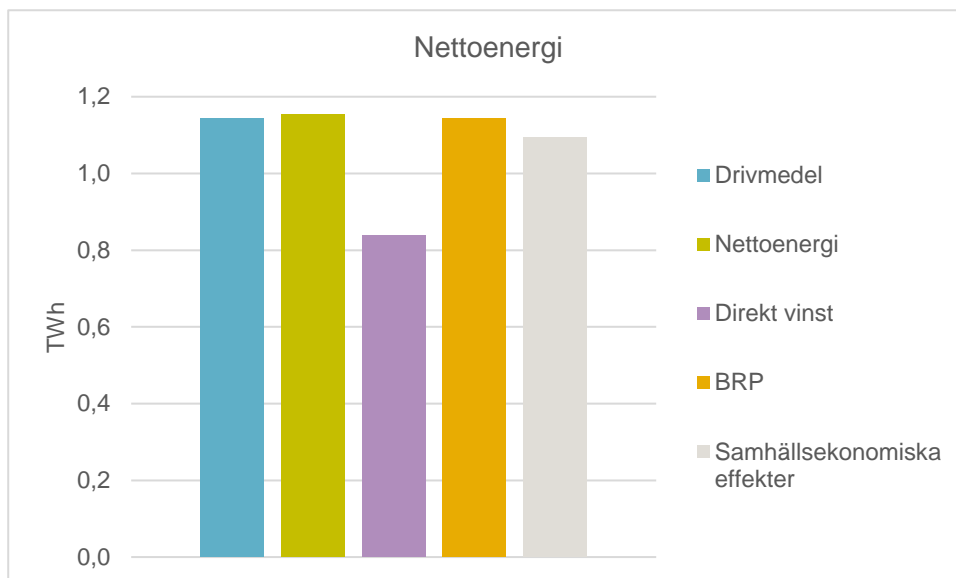
### 5.3 Nettoenergi

Resultatet för nettoenergi i Modell 1 presenteras i *Figur 23*. Enligt *Figur 21* ger optimering av nettoenergi samma drivmedelsproduktion som optimering av drivmedel, BRP och samhällsekonomiska effekter. Därav är resultatet för nettoenergi vid dessa optimeringar samma. Det finns en direkt motsättning mellan nettoenergi och direkt vinst. Detta illustreras i *Figur 23* där optimering av direkt vinst ger minst värde för nettoenergi. Detta tyder på att biogas inte är kostnadseffektivt för alla råvaror, vilket även presenterades i *Figur 17*.



Figur 23. Skillnaden mellan tillförd och utgående energi vid olika optimeringar, Modell 1.

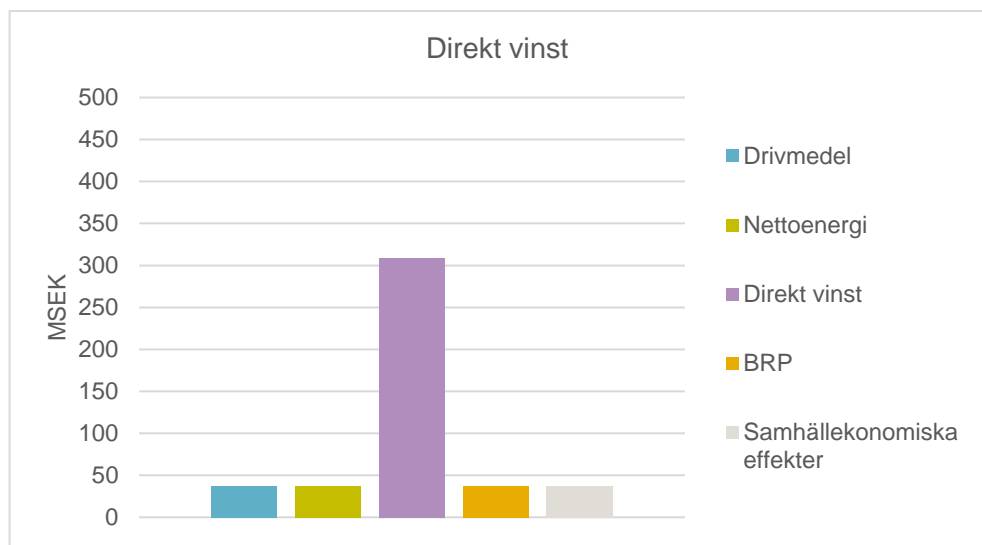
I Figur 24 presenteras hur utgående energi i förhållande till tillförd energi varierar vid olika optimeringar i Modell 2. Detta resultat avviker något från resultatet i Modell 1. Nettoenergin vid optimering av direkt vinst är högre och skiljer sig inte lika mycket från de andra optimeringarna jämfört med Modell 1. Detta innebär att motsättningen mellan kostnadseffektivitet och nettoenergi är mindre då synergier utnyttjas. Ytterligare en skillnad i detta resultat i jämförelse med Modell 1 är att skillnaden mellan energi i drivmedel och tillförd energi minskar då optimering sker med avseende på samhällsekonomiska effekter. Detta beror på att vätgas, vilken har en positiv effekt på nettoenergin, inte nyttjas i denna optimering och därmed minskar den totala nettoenergin något.



Figur 24. Skillnaden mellan tillförd och utgående energi med olika optimeringar, Modell 2.

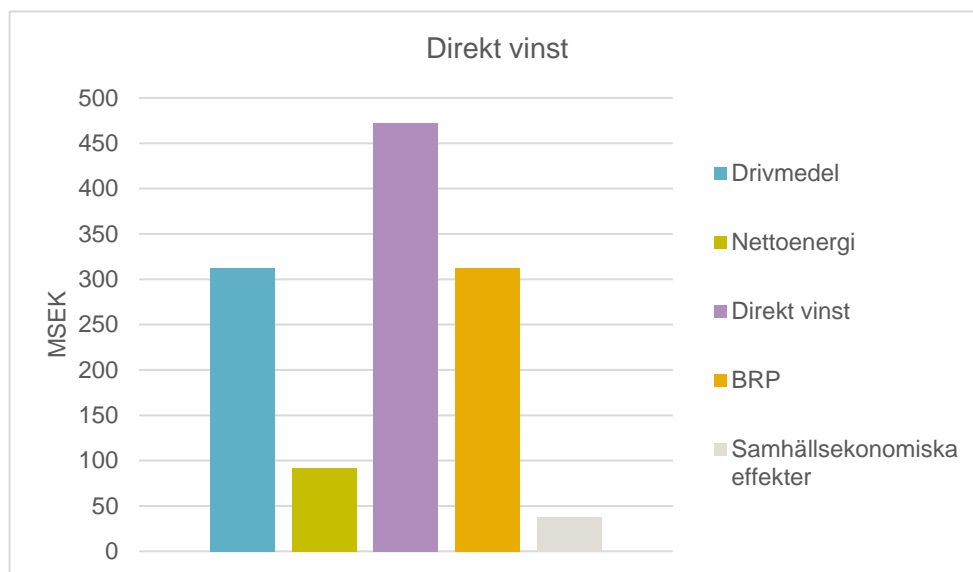
## 5.4 Direkt vinst

En direkt vinst, enligt definition i Avsnitt 2.2, erhålls i alla optimeringar enligt *Figur 25*. Det finns dock en skillnad mellan maximal direkt vinst och direkt vinst vid övriga optimeringar. Maximala direkta vinsten är över 300 MSEK, medan den direkta vinsten vid de övriga optimeringarna uppgår till ungefär 50 MSEK. Detta visar, precis som tidigare konstaterat, att direkt vinst och energi har en direkt motsättning och maximeras den ena kommer den andra minimeras. Det finns även en motsättning mellan direkt vinst och övriga optimeringar.



Figur 25. Direkt vinst vid olika optimeringar, Modell 1.

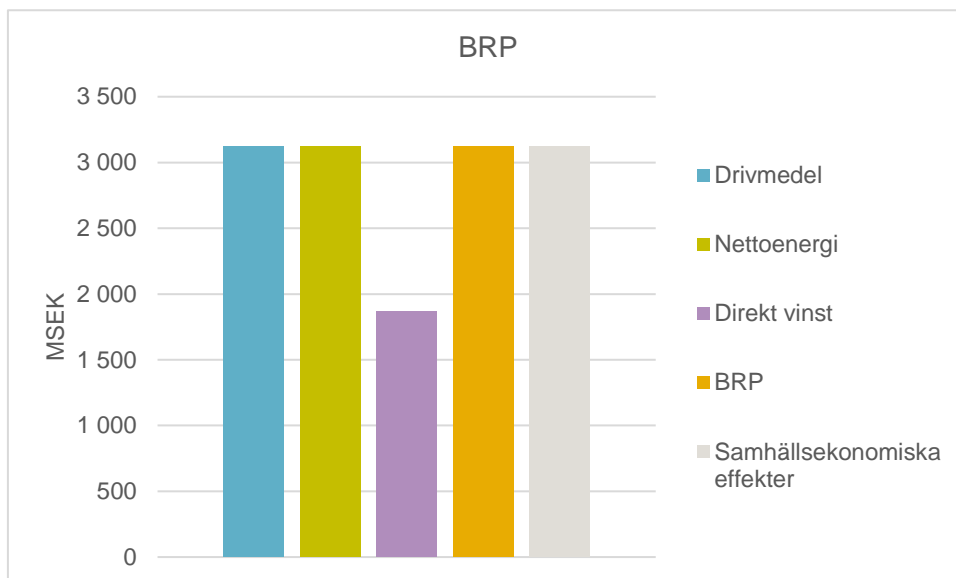
Direkt vinst nästintill dubblas i Modell 2 i jämförelse med Modell 1 och maximal direkt vinst uppgår till över 450 MSEK, *Figur 26*. Vid optimering av drivmedel och BRP uppgår direkt vinst till något över 300 MSEK vilket tyder på att Modell 2 i dessa fall är mer kostnadseffektiv än Modell 1. Optimering av energi och samhälls-ekonomiska effekter ger även i Modell 2 en låg direkt vinst. Därmed består motsättningen mellan energi och direkt vinst även i denna modell och den procentuella skillnaden är ungefär lika stor.



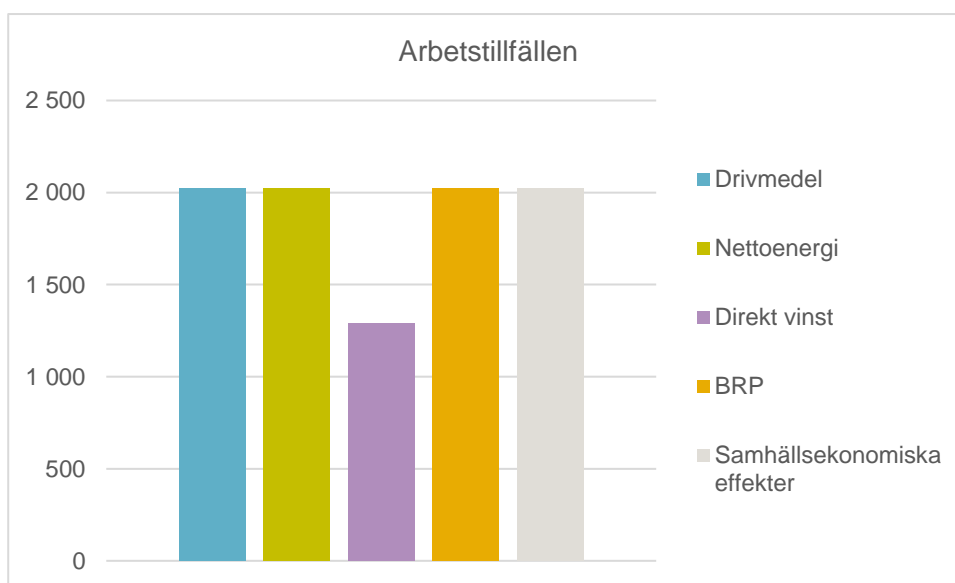
Figur 26. Direkt vinst vid olika optimeringar, Modell 2.

## 5.5 BRP

Figur 27 illustrerar hur BRP varierar vid olika optimeringar i Modell 1. Maximal BRP fås vid optimering av drivmedel, energi och samhällsekonomisk vinst. BRP uppgår i dessa fall till över 3 000 MSEK och 2 000 arbetstillfällen skapas. Lägst BRP erhålls vid optimering av direkt vinst vilken resulterar i en BRP om knappt 200 MSEK. I detta fall skapas ungefär 1 300 arbetstillfällen. BRP är i storleksordningen tio gånger större än den direkta vinsten. Resultatet för arbetstillfällen presenteras i Figur 28 och dessa är direkt proportionella mot BRP.



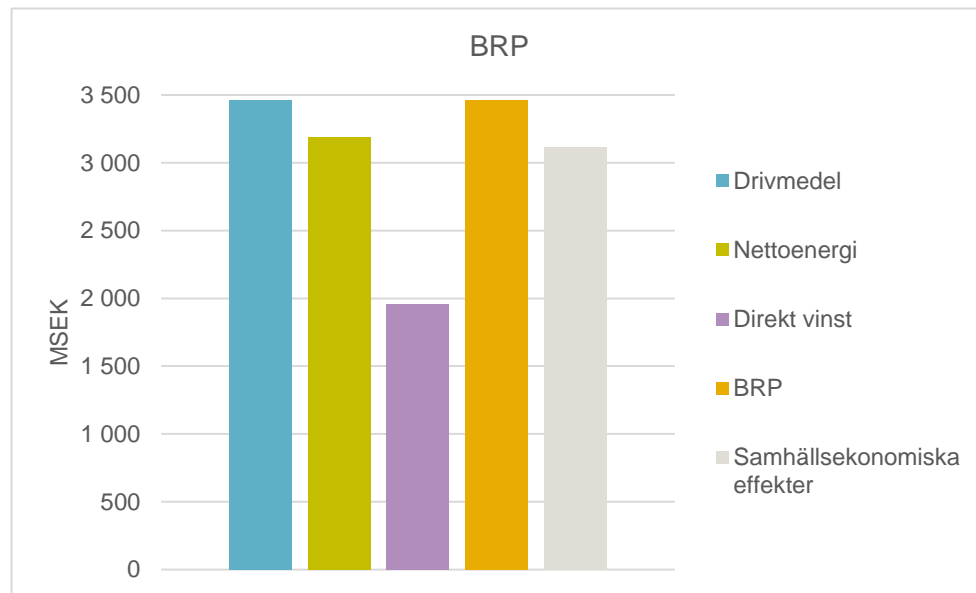
Figur 27. Ökning av bruttoregionalprodukt vid olika optimeringar, Modell 1.



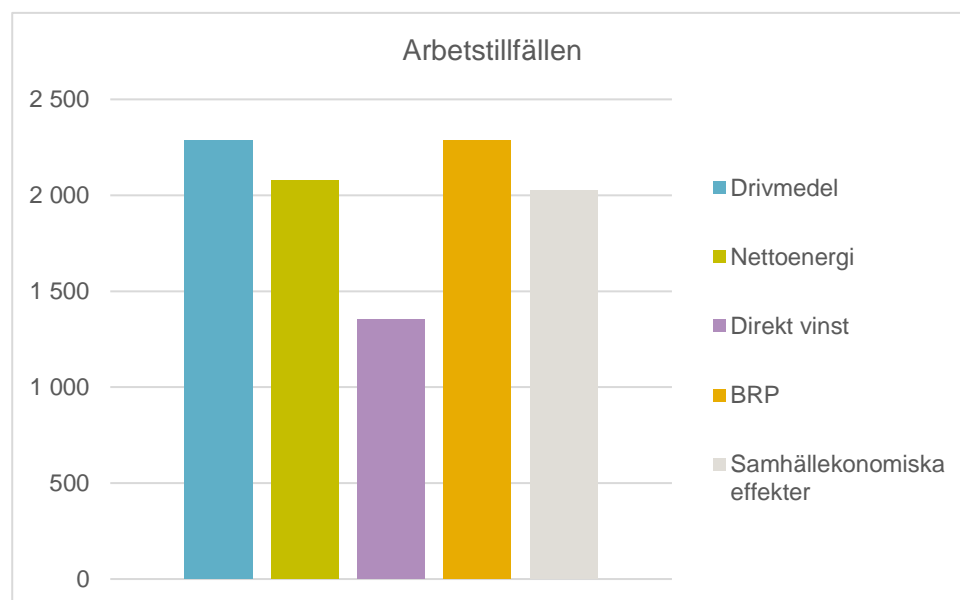
Figur 28. Arbetsstillfällena vid olika optimeringar, Modell 1.

I Modell 2 ökar maximal BRP till knappt 3 500 MSEK, *Figur 29*. Totalt skapas knappt 2 300 arbetsstillfällena, vilket är en ökning om 15 procent i jämförelse med Modell 1. Vid optimering av energi minskar BRP något vilket beror på att vätgas inte nyttjas vid rötning av vall och därmed förloras detta bidrag till BRP. Även vid optimering av samhällsekonomiska effekter minskar BRP, vilket beror på att vätgas

inte nyttjas över huvud taget i denna optimering. Lägst BRP fås vid optimering av direkt vinst, alltså i det fall då biogas och etanol produceras. Detta resultat grundar sig i att etanol har ett lägre bidrag till BRP än biogas. I detta fall uppgår antalet arbetstillfällen till något över 1 300 stycken. Resultatet för arbetstillfällen presenteras i *Figur 30* och dessa är direkt proportionella mot BRP.



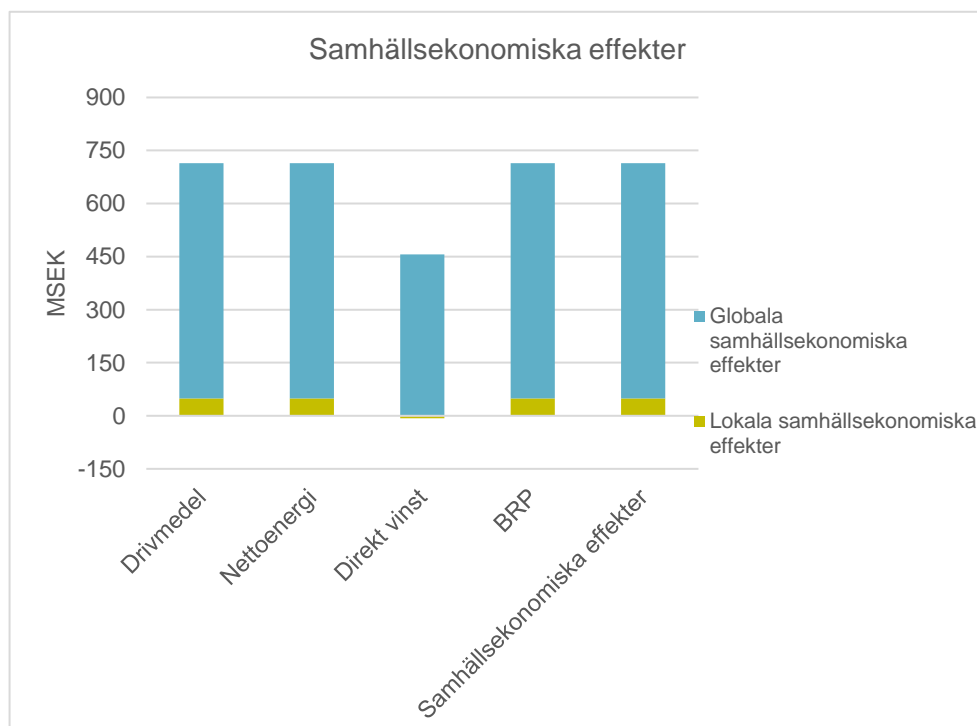
*Figur 29.* Ökning av bruttoregionalprodukt vid olika optimeringar, Modell 2.



*Figur 30.* Arbetsstillfällen vid olika optimeringar, Modell 2.

## 5.6 Samhällsekonomiska effekter

I *Figur 31* presenteras resultatet för samhällsekonomiska effekter. Dessutom illustreras globala och lokala samhällsekonomiska effekter separat. Definitionen av lokala och globala utsläpp presenterades i Avsnitt 4.9.2. Det viktigaste resultatet i denna figur är att de globala vinsterna är betydligt större än de lokala i alla optimeringar. Maximala samhällsekonomiska vinster fås vid optimering av drivmedel, energi och BRP och dessa uppgår då till över ungefär 714 MSEK. I dessa fall produceras endast biogas. Vid optimering av direkt vinst produceras, som tidigare redovisat, biogas och etanol och i detta fall minskar de samhällsekonomiska effekterna till 450 MSEK och de lokala effekterna blir negativa. Detta visar på att det finns en motsättning mellan direkt vinst och positiva samhällsekonomiska effekter.

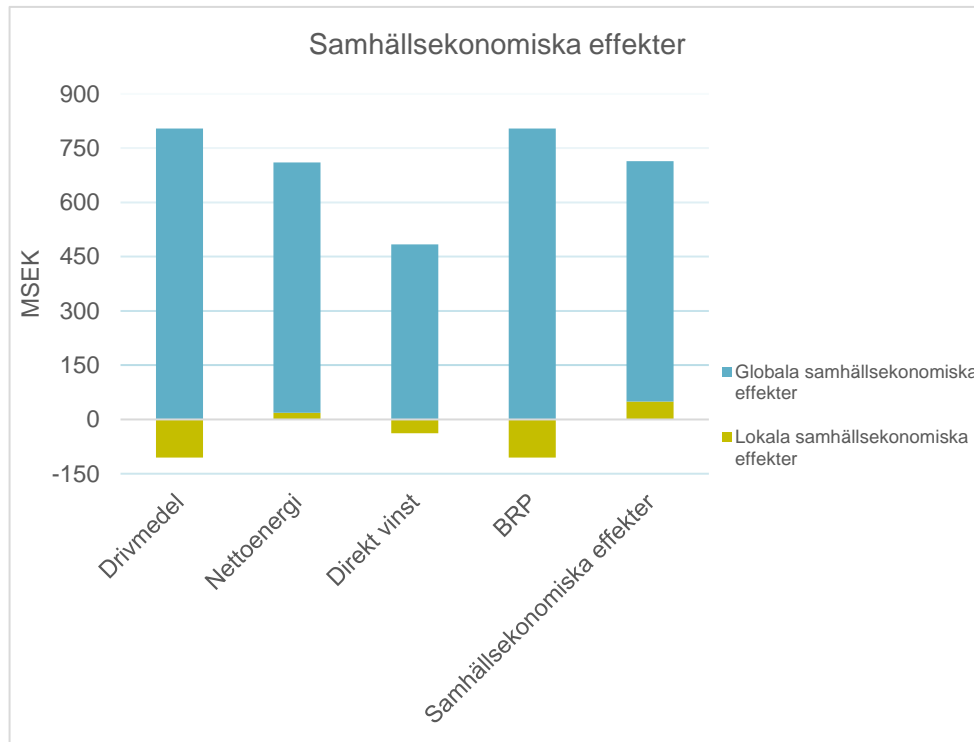


*Figur 31.* Samhällsekonomiska effekter vid olika optimeringar, Modell 1.

Även i Modell 2 är de globala samhällsekonomiska effekterna betydligt större än de lokala, *Figur 32*. De maximala samhällsvinsterna uppgår till ungefär 715 MSEK vilket är en ökning om ungefär 1 MSEK i jämförelse med Modell 1. Viktigt att notera i detta resultat är att de lokala samhällsekonomiska effekterna är negativa vid optimering av drivmedel, direkt vinst samt BRP. Detta resultat beror av de negativa



miljöeffekterna dels av vätgasproduktion och även av etanolproduktion. Även i Modell 2 finns en motsättning mellan positiva samhällsekonomiska effekter och direkt vinst.



Figur 32. Samhällsekonomiska effekter med olika optimeringar, Modell 2.

## 5.7 Känslighetsanalys

I detta avsnitt presenteras resultatet av känslighetsanalysen, där olika parametrar varierades enligt Tabell 21. Resultatet är uppdelat på *produktionskostnad*, *arbets-tillfällen*, *biomassapotentia*l samt *partikelutsläpp*.

### 5.7.1 Produktionskostnad

Produktionskostnaden varierades för att undersöka hur denna påverkar drivmedelsproduktionen vid optimering av direkt vinst. I Tabell 22 presenteras utfallet då produktionskostnaden varierades. Trots att produktionskostnaden sänktes 20 procent för RME produceras inte denna vid optimeringen av direkt vinst och därmed påverkades inte heller den maximala direkta vinsten. Då produktionskostnaden för etanol

sänktes ökade den maximala direkta vinsten markant både i Modell 1 och Modell 2. När kostnaden för etanol istället höjdes producerades biogas från vall istället för etanol från vete och maximala direkta vinsten minskade med 85 procent i Modell 1. Även i Modell 2 produceras biogas från vall istället för etanol och maximala direkta vinsten minskade över 34 procent. Produktionskostnaden för biogas påverkar även vinsten om än i mindre omfattning än kostnaden för etanol. Då nätavgiften subtraheras från priset för vätgasproduktion påverkas inte drivmedelsproduktionen. Däremot ökar den maximala direkta vinsten i Modell 2 med 0,71 procent. Detta visar att produktionskostnaden för vätgas har försumbar betydelse för den direkta vinsten. För att illustrera en risk att produktionskostnaden för vätgas ökar till följd av ökade elpriser undersöktes även förändringar i direkt vinst då produktionskostnaden ökar 20 procent. Den direkta vinsten minskade då 0,85 procent och drivmedelsproduktionen förändrades inte.

Tabell 22. Produktionskostnadens påverkan på direkt vinst

	Produktionskostnad	Förändring direkt vinst, Modell 1	Förändring direkt vinst, Modell 2
RME	-20 %	-	-
Etanol	-20 %	+100 %	+63 %
	+20 %	-85 %	-34 %
Biogas, alla substrat	-20 %	+29 %	+43 %
	+20 %	-4,5 %	-13 %
Vätgas	+20 %	-	-0,85 %
	-150 SEK/MWh	-	+0,71 %

### 5.7.2 Arbetstillfällen

Arbetstillfällen för etanol och RME ändrades till samma intensitet som biogas för att se hur detta påverkade optimeringen av BRP. Denna ändring påverkade inte optimering av BRP, Tabell 23, vilket kan antas bero på att vall fortfarande är den gröda som ger störst mängd drivmedel per hektar och därmed störst ökning av BRP. Därmed undersöktes även hur resultatet påverkades då arbetstillfällen och BRP för etanol och RME antogs till 150 procent av arbetstillfällen för biogas. Ändring av arbetstillfällen för RME påverkade inte resultatet. När arbetstillfällen för etanol ändrades allokerades all areal till vete istället för vall i Modell 1 och ökningen av BRP uppgick till 15 procent. Med samma ändring i Modell 2 uppgick ökningen av BRP till 6,3 procent. Detta innebär att arbetsintensiteten för RME inte påverkar resultatet vid optimering av BRP även om arbetstillfällen ökas till 50 procent mer än för biogas.

För etanol ger denna ökning en påverkan på resultatet för BRP både i Modell 1 och 2 men detta kräver en stor ändring av arbetskraftsintensiteten.

Tabell 23. *Arbetsstillfällens påverkan på BRP*

	Arbetsstillfällena	BRP, Modell 1	BRP, Modell 2
RME	100 % av biogas	0 %	0 %
Etanol	100 % av biogas	0 %	0 %
RME	150 % av biogas	0 %	0 %
Etanol	150 % av biogas	+15 %	+ 6,3 %

### 5.7.3 Biomassapotentia

I Tabell 24 presenteras utfallet vid optimering av mängd drivmedel då mängden insamlat organiskt avfall ökade till 80 respektive 100 procent. Ökningen i producerat drivmedel uppgick endast till något över 1 procent då avfallet ökade till 80 procent. Då 100 procent av avfallet samlades in ökade mängden drivmedel knappt 2 procent. Det kan konstateras att denna råvara inte påverkar resultatet anmärkningsvärt. I samma tabell presenteras hur arealen påverkar mängden producerat drivmedel. Denna har en större påverkan på mängden producerat drivmedel än mängden organiskt avfall. Detta kan bero på att den största andelen drivmedel är biogas av vallgröda, vars potential är beroende av en viss areal.

Tabell 24. *Biomassapotentiaens påverkan på producerat drivmedel*

	Ändring	Producerat drivmedel, Modell 1	Producerat drivmedel, Modell 2
Organiskt avfall	80 % insamling	+1,1 %	+1,1 %
	100 % insamling	+1,9 %	+1,9 %
Areal	+20 %	+16 %	+16 %
	-20 %	-16 %	- 16 %

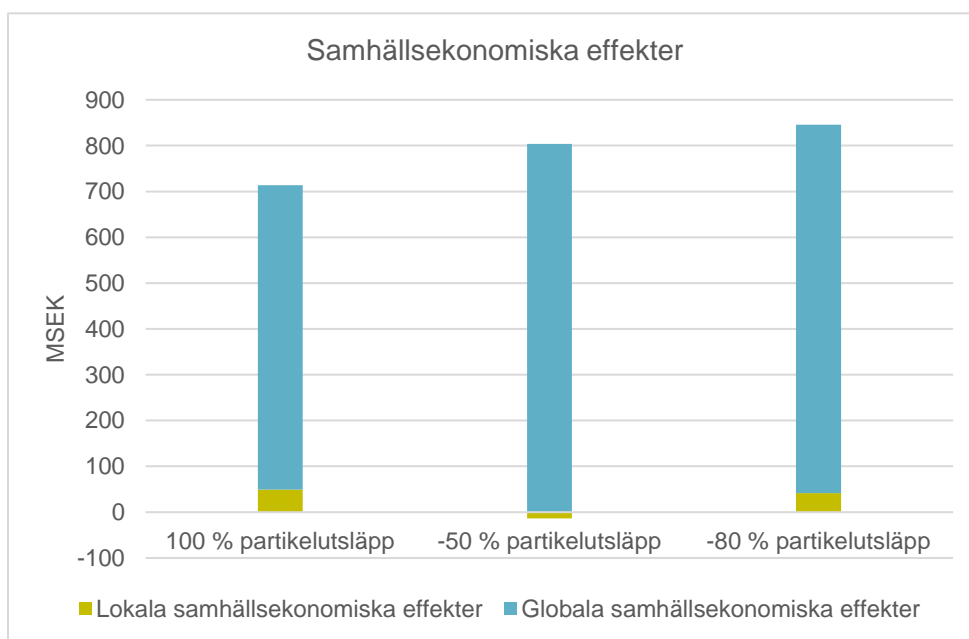
### 5.7.4 Partikelutsläpp

Partikelutsläppen för vätgasproduktion hämtades från utländska rapporter vilka antogs inkludera utsläppseffekter relaterade till andra förutsättningar vid kraftvärmeproduktion och elektrolys än vid svenska förhållanden. Partikelutsläppen minskades därför enligt Tabell 25 för att undersöka hur detta påverkade de samhällsekonomiska effekterna samt direkt vinst. Då utsläppen halverades ökade de samhällsekonomiska vinsterna med 11 procent. Dessutom inkluderades vätgas i drivmedelspro-

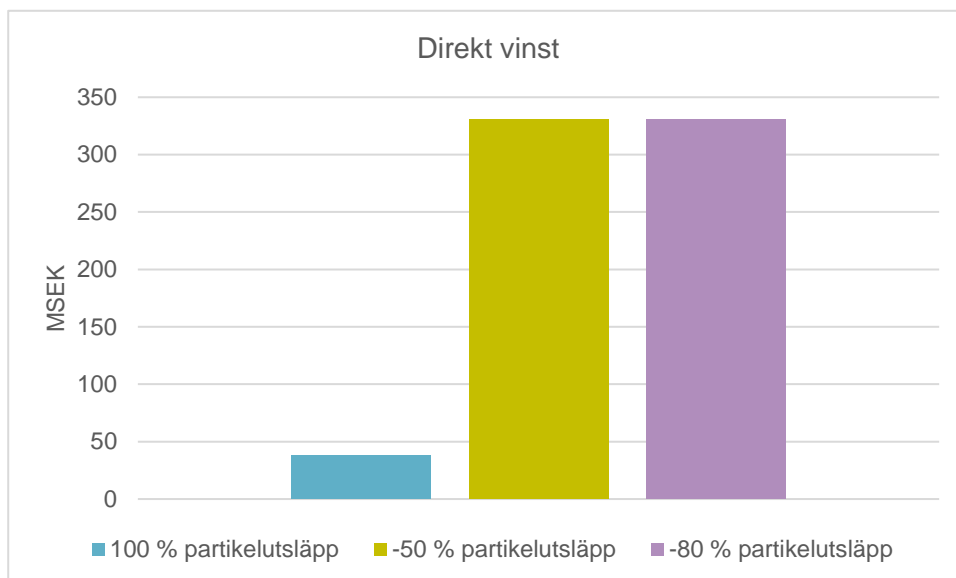
duktionen i detta fall och därmed produceras maximal mängd drivmedel. Detta medför att den direkta vinsten ökar 9 gånger. Detta betyder alltså att när partikelutsläppen för vätgasproduktion sänks inkluderas vätgas i optimeringen och det produceras maximal mängd drivmedel, vilket höjer direkt vinst markant. Eftersom all vätgas redan inkluderats då utsläppen sänks 50 procent ges samma ökning av direkt vinst då utsläppen sänks med 80 procent. För de samhällsekonomiska effekterna varierar dock resultatet för de lokala effekterna eftersom dessa beror av storleken på utsläppet av partiklar. I *Figur 33* illustreras skillnaden i samhällsekonomiska effekter och direkta vinster vid olika partikelutsläpp. Det kan konstateras att partikelutsläppen från vätgas har en viss påverkan på samhällsekonomiska effekter men de lokala effekterna är fortfarande relativt små i jämförelse med de globala. För drivmedelsproduktion och direkt vinst har partikelutsläppen en större påverkan eftersom produktion av vätgas bidrar till kostnadseffektiviteten. I *Figur 33* respektive *Figur 34* illustreras resultatet för samhällsekonomiska effekter och direkt vinst.

Tabell 25. Partikelutsläppens påverkan på samhällsekonomiska effekter och direkt vinst

Ändring	Samhällsekonomiska effekter	Direkt vinst
Partikelutsläpp vätgas	+11 %	+ 900 %
	+ 18 %	+ 900 %



*Figur 33.* Samhällsekonomiska effekter då partikelutsläppen för vätgas minskades 50 respektive 80 procent.



*Figur 34.* Direkt vinst vid optimering av samhällsekonomiska effekter, olika partikelutsläpp för vätgasproduktion.

## 6 Diskussion

I detta kapitel diskuteras resultatet av optimering och känslighetsanalys. Dessutom förs ett resonemang kring eventuella inlåsnings effekter vid synergi med kraftvärme som syftar till att besvara frågeställning 7: *Finns negativa effekter av de beroenden som uppstår vid samproduktion med industrin?* En diskussion förs kring frågeställning 2: *Vad har olika drivmedel för energi- och kostnadseffektivitet på kort respektive lång sikt?* Kapitlet delas in i: drivmedel och energi; direkt vinst; BRP och samhällsekonomiska effekter; förslag för framtida studier.

### 6.1 Drivmedelsproduktion och energi

När optimering görs enligt Modell 1 blir resultatet att det enbart ska produceras biogas för att maximera mängden drivmedel. Detta beror på att vall är den gröda som ger störst mängd energi per hektar och dessutom har högst omvandlingseffektivitet av alla råvaror. Därmed produceras ingen etanol och RME då dessa baseras på åkerbränslen vilka producerar mindre drivmedel per hektar, *Figur 15*. Optimering av energi resulterade i samma drivmedelsproduktion vilket beror på att vall sammantaget har lägst insatsenergi i jämförelse med raps och vete, *Figur 16*. RME kräver både mindre värme och el i drivmedelsprocessen än vad rötning av vall gör. Dock krävs mer energi vid odling av raps än vid odling av vall varför inga hektar allokerades till RME. Vad gäller optimering av BRP och samhällsekonomiska effekter beror resultatet endast på att biogas har högre BRP och mindre utsläpp per hektar varför arealen även i detta fall allokerades till vallodling, *Figur 18* och *Figur 19*. Resultatet avviker dock vid optimering av direkt vinst. Detta beror på att etanol totalt sett har en större vinstmarginal, *Figur 17*. Rötning av gödsel har en negativ vinstmarginal varför denna råvara inte nyttjas alls vid optimering av direkt vinst.

I Modell 2 ges möjligheten att utnyttja biprodukterna drank och rapsmjöl, i de fall dessa blir tillgängliga, samt möjlighet att utnyttja vätgas som tillsats i biogasprocessen för att öka verkningsgraden. Dessutom förbättras vinstmarginalen för etanol då kondensat säljs och distribueras på fjärrvärmenätet. Enligt Modell 2 ska enbart biogas produceras för att maximera mängden drivmedel, *Figur 22*. Vätgas tillsätts i alla processer. Återigen, enligt tidigare resonemang, beror detta på den höga odlingseffektiviteten för vall samt omvandlingseffektiviteten vid rötning. Det extra metan som erhålls då vätgas tillsätts biogasprocessen bidrar även till resultatet. Skulle vätgas av någon anledning inte kunna tillföras processen skulle det få en betydande påverkan på totala mängden producerat drivmedel. Att biprodukter från RME- och etanolproduktion kan utnyttjas i biogasprocessen räcker inte till för att totalt sett skapa än större mängd drivmedel vid RME- eller etanolproduktion än om vall nyttjas. Dock ska poängteras att det vid skörd av vete och raps även genereras halm vilken kan användas för kraftvärme eller rötning. Detta behandlar inte modellerna.

Vall och halm står för merparten av det producerade drivmedlet i optimeringarna. Bakgrunden till den stora mängden vall är bland annat överskott på areal till följd av minskad djurhållning (Österqvist, 2015). Med en fortsatt trend likt denna skulle ytterligare areal kunna frigöras till fördel för vallgröda. Dock rötas vall i liten utsträckning i Sverige idag: endast 2 viktprocent av det ingående substratet i svenska biogasanläggningar kommer från energigrödor (Klackenberg, 2017). Detta kan bero på att vall innehåller mycket fibrer vilket kräver förbehandling av substratet. Detta har inte beaktats i detta arbete. Dessutom saknar vall en del viktiga näringsämnen, vilket delvis kan kompenseras genom samrötning (Carlsson & Uldal, 2009). Samrötning beaktades dock inte i modellerna. Ett ökat nyttjande av vall väntas i framtiden då vall kan komma att klassificeras som ”andra generationens avancerade biobränsle” enligt EU:s förnybartdirektiv (2009/28/EG). Detta medför att vall kan få vissa skattelättnader vilket underlättar dess utveckling och kostnadseffektivitet (Prade, et al., 2015).

Halm rötas inte i Sverige idag vilket kan bero på dess innehåll av lignin, vilket medför ett lågt biogasutbyte. Dessutom kan problem uppstå på grund av halmens fysiska egenskaper och det finns en risk att ett täcke skapas i röt-kammaren, vilket försvårar rötning-processen (Carlsson & Uldal, 2009; Energimyndigheten, 2013). Ny forskning i laboratorieskala visar dock att pelleterad halm har en positiv effekt vid samrötning med matavfall. Detta beror främst av halmens höga TS-halt, innehåll av svårnedbrytbart kol samt låga halter av kväve. Dessa egenskaper kompenserar för matavfallens låga TS-halt, innehåll av lättnedbrytbart kol samt höga innehåll av kväve. Halmens egenskaper medför att mindre spädvätska krävs och mer substrat

kan matas in i röt-kammaren, vilket minskar energiåtgång och ger ett högre biogas-utbyte. Nackdelen med samrötning av halmpellets är den förbehandling som krävs för att minska partikelstorleken av halmen. Energiåtgång vid förbehandling av halm bör vägas mot de positiva effekter som erhålls vid samrötning (Sárvári Horváth, et al., 2017). Utifrån detta kan det antas att användningen av vall och halm som biogassubstrat kan komma att öka inom de kommande åren, vilket i så fall medför en stor ökning i biogasproduktion enligt resultatet i detta arbete.

Enligt känslighetsanalysen är det potentialen för areal som påverkar mängden producerat drivmedel mer i jämförelse med en ökad insamling av matavfall. Det ska dock nämnas att utbytet av åkerbränslen är baserat på åkermark i södra Sverige, varför råvarupotentialen kan vara något högt skattad på grund av det varmare klimatet. Däremot finns en trend av minskat antal mjölkkor i Sverige (Karlsson, 2016) vilket vittnar om att ytterligare åkermark kan komma att frigöras för odling av energigrödor i framtiden.

Drivmedelsmarknaden regleras bland annat i Europaparlamentet och rådets förnybartdirektiv (2009/28/EG), där drivmedelsproduktion av åkerbränslen regleras. I direktivet anges att drivmedel baserade på åkergrödor endast får uppgå till 5 procent vid beräkning av de 10 procent förnybara drivmedel som ska ingå i transportsektorns energianvändning (Börjesson, et al., 2013). Det är tydligt att drivmedel baserade på restprodukter ska främjas framför åkerbränslen. Detta styrker resultatet i det här arbetet, med undantaget att vall kan klassas som ett åkerbränsle.

Biogasens lönsamhet grundas ofta på avfall från en så kallad huvudverksamhet. Detta kan till exempel vara en livsmedelsindustri där biogasanläggningens produktion är direkt beroende av denna verksamhet. Avloppsslam och hushållsavfall är stabila substrat som alltid kommer att finnas tillgängliga, varför dessa är vanligast för biogasproduktion. Vidare kan samrötning medföra en ökad flexibilitet och minskad beroende av en viss aktör men detta genererar ofta högre kostnader till följd av ökade tekniska krav på anläggningen (Energimyndigheten, 2013). Då biogasproduktionen enligt resultatet främst grundar sig på vall och halm, och dessa råvaror inte alltid kommer att finnas tillgängliga, kan ett beroende av andra verksamheter uppstå. Detta innebär att en stor del av biogasproduktionen endast kan fortgå så länge vall och halm produceras och finns att tillgå.

Det övergripande målet för biogasproduktion i Biogas Öst region (Stockholms, Södermanlands, Uppsala, Västmanlands, Örebro och Östergötlands län) är 10 procent av den totala användningen till år 2030, vilket motsvarar ungefär 3 TWh (Biogas Öst, 2017d). Produktionen idag i de tre länen uppgår till knappt 200 GWh



(Energimyndigheten, 2016b). I relation till detta mål samt dagens produktion kan 2,9 TWh för endast tre av länen verka något högt. I undersökningen av biomassapotentialet kan miljömässiga och ekonomiska faktorer påverka uttaget. Därmed kan potentiella produktionen av drivmedel minska då dessa faktorer beaktas. Målet för produktion av biogas i Sverige år 2030 är 15 TWh (Energimyndigheten, 2015), och alltså skulle de tre undersökta länen stå för 20 procent av Sveriges produktion. Framtida potentialstudier för biomassa bör inkludera ekonomiska och miljömässiga aspekter för en bättre uppskattning av drivmedelsproduktionen.

Vid maximering av nettoenergin erhöles i Modell 1 samma nettoenergi i alla optimeringar utom en: direkt vinst, *Figur 23*. Detta beror på att etanol, vilket produceras vid denna optimering, inte är det mest energieffektiva alternativet. Denna insikt är viktig då direkt vinst är en förutsättning för att ett drivmedel ska kunna konkurrera på marknaden. I detta fall måste avkall göras på den mest energieffektiva lösningen. I Modell 2 kan liknande mönster ses i resultatet och direkt vinst är även här den optimering som gör att den totala energin minskar. Dock är skillnaden mindre, vilket beror på att drank rötas samt att vätgas nyttjas i alla biogasprocesser, *Figur 24*. Optimering av samhällsekonomiska effekter ger även något mindre nettoenergi vilket kan härledas till att vätgas inte nyttjas i denna optimering.

Vad innebär denna motsättning mellan nettoenergi och kostnad? Rötning av vall är en effektivare process än både RME- och etanolprocessen och totalt sett krävs mindre energi. Däremot har denna process en lägre vinstmarginal än till exempel etanolproduktion enligt *Tabell 10*. Eftersom matavfall, slam, gödsel och halm inte har någon alternativ användning i modellen kommer dessa råvaror alltid att utnyttjas vid optimering av energi så länge skillnaden mellan utgående och tillförd energi inte är negativ.

I *Tabell 3* redogörs för potentialen för ökat uttag av bränsle för att producera värme och el. Detta bränsle innefattar grot och stubbar och uppgår knappt 500 000 ton TS, vilket är ungefär 2,7 TWh. Detta skulle räcka till att täcka det värmebehov som uppstår till följd av ökad drivmedelsproduktion. Samtidigt finns ett minskat fjärrvärmebehov till följd av energieffektivisering av byggnader, varmare klimat och en ökad användning av värmepumpar. Det minskade behovet märks framförallt inom flerbostadshussektorn (Fjärrsyn, 2011). Således kommer det att finnas ett ökat fjärrvärmeutbud i framtiden vilket kan tillgodose behovet för värme inom drivmedelsproduktion, med förutsättningen att dessa lokaliseras i anslutning till varandra. Befintliga kraftvärmeanläggningar, presenterade i Avsnitt 2.7, bör kunna tillgodose dessa processer med värme.

Ytterligare en viktig faktor gällande energi är energiinsatsen vid odling, där arbetsmaskiner oftast drivs av diesel. Vid vallodling är energibehovet ungefär 25 respektive 30 procent mindre per hektar i jämförelse med raps och vete. Det står klart att rötning av vall är mer resurs- och energieffektivt idag och bör prioriteras framför RME och etanol ur ett energiperspektiv. Å andra sidan kommer tillgång på värme och el troligtvis inte att vara ett problem på grund av minskat fjärrvärmebehov samt tillgång på brännbara bränslen i framtiden, vilket möjliggör produktion av drivmedel med stort el- och värmebehov i processen.

På längre sikt är det möjligt att processernas omvandlingseffektivitet samt behov av tillförd energi kan förändras och andra råvaror kan komma att nyttjas. I Agroetanolans anläggning i Norrköping används till exempel bröd för att framställa etanol (Lantmännen Agroetanol, 2017a) och Agroetanol deltar även i forskningsprojekt för att framställa etanol av halm (Lantmännen Agroetanol, 2017b). Processen för etanol från lignocellulosa är ofta mer energieffektiv än processen från traditionella grödor. Dessutom sker en effektivisering av den vetebaserade drivmedelsprocessen (Börjesson, et al., 2013; Börjesson, 2006). Biogasprocessen kan även komma att bli än mer effektiv genom bättre förbehandling och blandning av olika substrat (Prade, et al., 2015; Svensson, 2017). Det är därmed inte klart hur energibehov och omvandlingseffektivitet för olika drivmedel kommer att se ut i framtiden men däremot är det sannolikt att det kan ske en förändring från idag.

## 6.2 Direkt vinst

Vidare visar resultatet för direkt vinst i Modell 1 att en betydande skillnad finns mellan maximal direkt vinst och direkt vinst vid övriga optimeringar, *Figur 25*. Detta bekräftar tidigare resonemang om motsättning mellan energi och kostnadseffektivitet. I Modell 2 däremot, är den maximala direkta vinsten inte långt ifrån direkt vinst vid optimering av drivmedel och BRP, *Figur 26*. Detta visar på att vätgastillsats är nästintill så kostnadseffektivt som etanolproduktion. Att optimering av samhällsekonomiska effekter ger den lägsta direkta vinsten grundar sig i att vätgasproduktion bidrar med negativa samhällsekonomiska effekter varför vätgas inte produceras i denna optimering. Eftersom denna process är bland de mest kostnadseffektiva påverkas även direkt vinst när vätgas inte nyttjas.

RME produceras inte i någon av optimeringarna. Resultatet styrks av trenden för svensk produktion av RME som sjunkit kraftigt de senaste åren, vilket kan bero på ökade skatter samt en minskad marknad. Vinstmarginalen har under 2016 varit ne-

gativ. Trenden för användning av både låg- och höginblandad etanol är också sjunkande, vilket delvis kan härledas till minskad bensin användning. Att användningen av E85 även minskat kan bero på ett lågt bensinpris varför bensin väljs även i flexifuelbilar (Energimyndigheten, 2016a). Trenden för biogas är däremot en annan och användningen har ökat de senaste åren på grund av ökad inblandning i fordonsgas. Den totala fordonsgasanvändningen har dock minskat sedan år 2014 vilket sannolikt beror på de låga bensinpriserna. Detta gör att ägare till gasbilar väljer bensin framför fordonsgas, då gasbilar kan tankas med båda dessa drivmedel (Energimyndigheten, 2016a).

Vilket drivmedel som presterar bäst ekonomiskt på kort respektive lång sikt är inte helt enkelt att bedöma. Priset för biodrivmedel regleras till stor del av styrmedel, vilka kan ändras från ett år till ett annat. Dessutom påverkar regleringar inom EU den svenska marknaden för biodrivmedel, framförallt genom förnybartdirektivet (2009/28/EG). I detta direktiv bestäms hur hållbarhetsbedömningen av olika drivmedel ska genomföras, vilket i sin tur påverkar utbud och efterfrågan (Börjesson, et al., 2013). Aktörer på den globala marknaden påverkar även priset och billigare etanol från till exempel USA och Brasilien pressar priset på etanolmarknaden. Priset på fordonsgas sätts i relation till bensinpriset varför priset på råolja direkt påverkar fordonsgaspriset. Fordonsgaspriset sätts dock på regionala marknader och kan därför variera geografiskt (Energimyndigheten, 2013; Energimyndigheten, 2016a).

Produktionskostnad är ytterligare en faktor som påverkar kostnadseffektiviteten. Råvarukostnaden är en stor del av den totala kostnaden för RME och etanol, vilka beror av vete- respektive rapsolja priser i Europa. För biogas används oftast restprodukter, vilket ger en lägre råvarukostnad. Nämnas bör dock att biogasens många olika substrat medför att produktionskostnaden varierar (Energimyndigheten, 2016a), vilket även har konstaterats tidigare i detta arbete. Dessutom ökar konkurrensen om substrat vilket medför ökade substratpriser då marknaden styrs mot dyrare råvaror. Hantering av substrat och rötrest samt rötning står dock oftast för merparten av produktionskostnaden (Holgersson, et al., 2011; Energimyndigheten, 2013).

Enligt känslighetsanalysen har produktionskostnaden för etanol och biogas en betydlig påverkan på direkt vinst, Tabell 22. Detta beror på att marginalerna för vissa råvaror är knappa, vilket leder till att dessa faller bort då vinsten optimeras. När kostnaden sänks kan dessa råvaror inkluderas. Enligt analysen är RME inte ekonomiskt konkurrenskraftigt trots en sänkning av kostnaderna. Den ökning av produktionskostnaden som undersöktes skulle kunna representera en höjning av elpriset till följd av en osäker elmarknad efter 2020 när kärnkraften fasas ut (Bixia, 2017; Söder,

2016). Denna ökning av produktionskostnaden påverkar direkt vinst till stor del och visar på att elpriset kan komma att påverka lönsamheten i biodrivmedelsproduktionen. Då nätavgiften för el till vätgasproduktion subtraherades påverkades inte den totala vinsten anmärkningsvärt. El är dock en stor del av den totala kostnaden för vätgas varför en förändring i elpris kan påverka vätgasproduktionen och vätgasanvändning inom andra processer.

År 2018 tas energiskatten bort för E85 och B100 (ren biodiesel) i ett försök av Regeringen att öka konkurrenskraften för dessa drivmedel (Regeringskansliet, 2017). Detta kan främja både användning och produktion av dessa. När skatten sänks ges möjlighet för producenter att ta ut en större vinstmarginal utan att priset ändras för konsumenten, vilket kan främja lönsamheten. Ytterligare ett styrmedel som kan komma att påverka biodrivmedlens utveckling är reduktionsplikten, vilken innebär att alla drivmedelsleverantörer måste blanda in biodrivmedel i de fossila drivmedlen. Detta genomförs för att minska de nationella utsläppen av växthusgaser med 40 procent till och med 2030. Reduktionsplikten börjar gälla under 2018 och ska fungera som ett långsiktigt styrmedel som främjar utvecklingen av de biodrivmedel som minskar växthusgasutsläppen mest (Westerberg, 2017).

Sammanfattningsvis är etanol mest kostnadseffektivt i dagsläget. Dock är produktionskostnaden för både etanol och RME, till skillnad från biogas, starkt beroende av råvarupriser och oljepriser i övriga Europa vilket kan förändra förutsättningarna. Biogasen verkar istället på en regional marknad men lönsamheten beror enligt tidigare resonemang ofta på restprodukter från en annan verksamhet, vilket gör den sårbar. Dessutom sätts priset i förhållande till bensinpriset vilket även gör biogasens lönsamhet beroende av marknaden för fossila bränslen. Skatter och andra styrmedel har en stark påverkan på biodrivmedlens framtid och under 2018 kommer konkurrenskraften för RME och etanol förmodligen förbättras. Eftersom biogas presterar bäst i alla optimeringar förutom kostnadseffektivitet, är det tydligt att detta drivmedel kräver nya och/eller förändrade styrmedel för att dess positiva effekter relaterade till energi, BRP och samhällsekonomi ska erhållas.

### 6.3 BRP och samhällsekonomiska effekter

Som tidigare ges liknande resultat vid optimering av drivmedel, energi och samhällsekonomiska vinster i Modell 1. Alla dessa optimeringar ger ett maximalt värde för BRP, *Figur 27*. Att etanol har en lägre påverkan på BRP gör att optimering av vinst minskar värdet av BRP med ungefär hälften i jämförelse med när endast biogas

produceras. I Modell 2 ger även optimering av energi och optimering av samhälls-ekonomiska effekter ett lägre värde på BRP, *Figur 29*. Detta härleds till att vätgas inte nyttjas fullt i dessa fall vilket sänker det totala värdet på BRP. Maximal BRP uppgår till 3,1 miljarder SEK i Modell 1 och knappt 3,5 miljarder SEK i Modell 2. Detta kan ställas i relation till total BRP i de tre regionerna 2014 som uppgick till 315 miljarder SEK. Alltså skulle BRP maximalt öka med över 1 procent. För varje län är en ökning av BRP om 0–4 procent per år vanligt (Statistiska Centralbyrån, 2016; Statistiska Centralbyrån, 2017).

En svaghet i optimeringen är att en arbetskraftsintensiv process premieras vilket inte enbart är målet för att uppnå en hög tillväxt. Eftersom insatsvarorna i biogasprocessen ofta är lågvärdiga restprodukter som sedan omvandlas till ett högvärdigt drivmedel har biogas ett högt förädlingsvärde. Detta innebär att BRP per sysselsatt blir högt. I en framtida studie kan olika produktivitet antas för olika drivmedel, framförallt eftersom råvaror i RME- och etanolproduktion inte är restprodukter och möjligen har ett högre värde från början. Alla råvaror i biogasproduktionen är inte heller restprodukter varför deras värde varierar. Detta påverkar i sin tur produktiviteten för de sysselsatta.

I känslighetsanalysen gjordes klart att arbetstillfällena för etanol och RME inte påverkade resultatet för optimering av BRP i någon större utsträckning, *Tabell 23*. Detta beror framförallt på att vall har högre odlings- och omvandlingseffektivitet. Uppskattning av sysselsättningseffekt är en av de svagare delarna i denna studie eftersom dessa effekter är svåra att mäta och tidigare studier saknas. Resultatet visar att arbetskraftsintensiteten för etanol och RME måste bli högre än för biogas för att dessa drivmedel ska produceras vid denna optimering.

I förnybartdirektivet (2009/28/EG) lyfts fördelarna fram med att producera biogas där till exempel biogasens decentraliserade karaktär nämns som en styrka då detta främjar regional investering och möjligheter till inkomst för lantbrukare. Huruvida de positiva effekterna av arbetstillfällena och tillväxt kompenserar för de subventioner som finns för biodrivmedel är dock inte klart. I en rapport till Regeringskansliet lyfts tvivel kring hur de positiva effekterna vid etanolproduktion, i form av sysselsättning och energisäkerhet i Europa, väger upp de subventioner som ges. Författaren menar att sysselsättningseffekter ibland kan vara överskattade (Wibe, 2010). Ett antagande i detta arbete som kan påverka sysselsättningseffekten är antagandet om att endast nya jobb skapas, medan det i verkligheten kan vara så att personer som redan är sysselsatta byter jobb.

Även trender på den svenska biodrivmedelsmarknaden kan påverka det uppskattade värdet för BRP. Trenden går mot ett färre antal anläggningar, där de anläggningar som finns blir allt större. Detta beror möjligen på krav på minskade utsläpp tillsammans med ökad lönsamhet vid storskalig produktion (Energimyndigheten, 2011). Även för biogas finns det fördelar med större anläggningar, där storskalighet krävs för ekonomisk lönsamhet vid uppgradering. Potentialen för gödsel är stor men råvaran har ofta en stor geografisk spridning där långa transporter sällan är ekonomiskt försvarbara. Eftersom uppgradering kräver höga flöden av biogas och därmed insamling av substrat över stora geografiska områden förloras stora delar av potentialen för gödsel för produktion av fordonsgas (Forsberg, 2009). Storskaligheten påverkar drivmedlens bidrag till sysselsättning och regional tillväxt då detta baseras på en decentraliserad produktion. För att dessa effekter ska erhållas krävs därför att lönsamhet även kan åstadkommas vid anläggningar av mindre skala.

De samhällsekonomiska effekterna är samma i alla optimeringar i Modell 1 förutom vid optimering av direkt vinst, *Figur 31*. I detta fall erhålls en negativ lokal samhällsekonomisk effekt då produktion av vete främst har negativ lokal miljöpåverkan. De positiva, globala samhällsekonomiska effekterna är betydligt större. I Modell 2 finns en större spridning i resultatet för samhällsekonomiska effekter, *Figur 32*. Vätgasproduktion ger ett negativt bidrag varför de samhällsekonomiska effekterna minskar då vätgas inkluderas. Det bör nämnas att de samhällsekonomiska effekterna endast baseras på fyra olika utsläpp där merparten av indata begränsats till endast en undersökning. Sammantaget de lokala och globala utsläppen ger RME en negativ samhällsekonomisk effekt, vilket medför att RME inte produceras alls vid optimering av samhällsekonomiska effekter. Vätgasproduktionens partikelutsläpp har en liten påverkan på samhällsekonomiska effekter men desto större påverkan på direkt vinst, *Figur 33*. Detta beror på att indata baseras på vätgasproduktion med el från biomassa, vilken har höga utsläpp av partiklar.

Ytterligare samhällsekonomiska effekter kan uppstå vid produktion av biodrivmedel. Minskning av buller har en stor samhällsekonomisk effekt vilken främst uppstår i tätorter där många människor påverkas. I värderingen av buller innefattas till exempel långsiktiga hälsoeffekter och störningseffekter (Trafikverket, 2016). Det finns ingen entydig uppfattning om hur användning av biogas, etanol eller RME påverkar bullernivåer i tätorter, varför dessa inte inkluderades i arbetet. Undersökningar har gjorts som visar att både användning av RME och biogas i bussar ger mindre buller än en dieselhybridbuss. Användning av biogas påstås ofta minska buller i förhållande till användning av diesel (Energimyndigheten, 2010; Hjort, et al., 2017; Tufvesson, et al., 2013). För att kunna säkerställa dessa samhällsekonomiska effekter krävs en mer utförlig undersökning av hur användning av olika drivmedel

påverkar bullernivåer. Dessutom krävs en kartläggning av var dessa fordon kommer användas då de samhällsekonomiska effekterna beror av hur många individer som påverkas av bullret (Trafikverket, 2016).

Vidare kan en inhemsk produktion av drivmedel öka försörjningstryggheten, vilket är en annan samhällsekonomisk nytta. Biogas produceras ofta lokalt och av råvaror så som avloppsslam och matavfall som inte har en alternativ användning (Energimyndigheten, 2010), varför detta drivmedel kan bedömas vara säkrare än andra. Försörjningstrygghet har berörts i tidigare rapporter om biogas där den värderats till 1,5 öre per kWh biogas baserat på minskade kostnader för oljelager enligt Energimyndigheten (Energimyndigheten, 2010; Region Skåne, 2012). Denna nytta bör utredas vidare för att på bästa sätt inkludera dess samhällsekonomiska effekter.

Ytterligare fördelar som inte värderats i detta arbete är biogasens bidrag till återföring av näringsämnen vilket sker när rötresten kan spridas som gödning på åkermark (Energimyndigheten, 2010). All rötrest, eller biogödsel, används däremot inte i dag (Energimyndigheten, 2016b) och detta kan ha flera anledningar. Som tidigare presenterat bidrar rötresten inte nämnvärt till direkt vinst. Försäljning och hantering av rötrest har däremot en stor påverkan på produktionskostnaden. Hygienisering, vilket ofta krävs när rötresten ska spridas på åkermark, och avvattning är dessutom energikrävande steg i biogasprocessen, vilket diskuterats tidigare. Vid framställning av mineralgödsel utvinns den ändliga resursen fosfor i stor skala. Dessutom går det åt mycket energi vid denna tillverkningsprocess. Fördelarna vid spridning av rötrest är att mineralgödselanvändningen minskar. Vidare kan rötresten nyttjas inom ekologiska jordbruk, vilket kan främja dessas utveckling (Energimyndigheten, 2015). Det kan konstateras att behandling och spridning av rötrest behöver bli mer energi- och kostnadseffektivt för erhålla ovan nämnda positiva effekter.

## 6.4 Framtida studier

Detta arbete har inte innefattat en geografisk utformning av drivmedelsproduktionen, utan endast identifierat var drivmedelsanläggningar och kraftvärmeanläggningar finns idag samt hur mycket mer drivmedel som skulle kunna produceras. Ytterligare utredning behövs för att bestämma hur många anläggningar som krävs, var de bäst kan lokaliseras samt vilken produktionskapacitet de ska ha. I en sådan utredning bör hänsyn tas till hur det färdiga drivmedlet på bästa sätt ska distribueras. Dessutom bör även HVO från inhemska råvaror, så som exempelvis råttolja, inkluderas och jämföras med drivmedlen i denna studie, detta eftersom HVO ökat i

användning markant de senaste åren och innehar en stor andel av biodrivmedelsmarknaden. En pågående debatt kring användning av restprodukter från palmolja för HVO-produktion motiverar dessutom en utredning av den ekologiska hållbarheten för detta drivmedel.

En mer detaljerad analys bör genomföras för övriga biprodukter, presenterade i Avsnitt 2.5, för att effektivisera resursanvändningen och identifiera ytterligare synergier mellan industrier. Dessutom bör andra industrier än kraftvärmeindustrin undersökas för exempelvis produktion av vätgas.

Vidare skulle en mer utförlig studie av direkta och indirekta sysselsättningseffekter till följd av etablering av etanol- och RME-anläggningar ge en mer rättvis kvantifiering av dessa drivmedels bidrag till BRP och den regionala tillväxten. Därtill behövs en utredning av värdet av eventuellt minskat buller, ökad försörjningstrygghet samt ökad återföring av näringsämnen för att få en helhetsbild av alla samhällsekonomiska effekter.

Till sist kan modellerna i detta arbete utvecklas ytterligare genom att kombinera befintliga program som används för beräkning av regional tillväxt (till exempel rAps-modellen, vilken presenterades i Avsnitt 4.9) med linjärprogrammering för fördelning av råvaror och potentiell åkermark. Detta arbete är ett steg i att kombinera flera olika faktorer så som energi, kostnader, BRP och samhällsekonomiska effekter för att jämföra olika biodrivmedel och motivera dess utveckling.



## 7 Slutsatser

Syftet med studien var att utreda potentialen för biomassa i tre län och hur drivmedlen biogas, etanol, HVO och RME kan produceras från dessa på ett optimalt sätt. Dessutom utreddes hur drivmedelsproduktionen kan utformas i synergi med befintliga industrier för att öka den regionala utvecklingen. Målet med arbetet var att öka produktionen av förnybara drivmedel i regionen och därmed även öka den regionala tillväxten. Inom arbetets omfattning ingick att utreda utgående och tillförd energi i de olika processerna, drivmedlens olika kostnadseffektivitet och dess bidrag till regional tillväxt samt optimera drivmedelsproduktionen med avseende på dessa parametrar. Att undersöka hur de identifierade synergierna skulle påverka dessa parametrar var även en del i arbetet. Med en linjärprogrammeringsmodell kunde drivmedelsproduktionen optimeras.

Studien visar att den tekniska biomassapotentialet till största del innefattar råvaror till biogasproduktion där halm är en av råvarorna med stor potential. Potential finns även för utökad odlingsareal där både vall, vete och raps kan produceras. Organiskt avfall, gödsel och slam står för mindre andelar av den totala potentialen. De synergieffekter som identifierades var tillsats av vätgas i biogasprocessen genom el från kraftvärme, rötning av biprodukterna drank och rapsmjöl samt försäljning av kondensat från etanolprocessen till fjärrvärmenätet. HVO uteslöts senare ur studien då tillförlitliga data saknades.

I majoriteten av optimeringarna produceras biogas framför etanol och RME. Biogas från vall är mest energieffektivt i dagsläget, men detta kan komma att ändras då etanolprocessen blir allt mer effektiv. Trots detta förväntas tillgången på värme och el inte utgöra ett hinder för mer energikrävande processer. Vad gäller kostnadseffektivitet är etanol det drivmedel med störst vinstmarginal i dag. Lönsamhet är dock problematiskt att utreda då drivmedlens roll på marknaden till stor del beror av olika nationella och internationella styrmedel, vilka kan komma att ändras inom de

närmsta åren. På grund av borttagandet av energiskatt för etanol och RME år 2018, samt införandet av reduktionsplikten, förväntas dessa drivmedel få en stärkt roll på drivmedelsmarknaden och möjligen vända trenden av dess minskade användning. Det konstaterades att det finns en motsättning mellan nettoenergi och kostnadseffektivitet och det är en stor skillnad mellan maximal direkt vinst och direkt i resterande optimeringar. När synergier inkluderas minskar skillnaden i direkt vinst i de olika optimeringarna vilket tyder på att tillsats av vätgas i biogasprocessen är nästintill så kostnadseffektivt som etanolproduktion.

Utan synergieffekter kan maximalt 2,4 TWh drivmedel produceras. Då vätgas tillsätts biogasprocessen ökar produktionen med 0,5 TWh drivmedel och utgörs endast av biogas. Detta motsvarar ungefär 20 procent av målet för biogasproduktion i Sverige 2030. Det finns därmed biomassapotentzial för att öka drivmedelsproduktionen i de undersökta länen relativt mycket.

Det finns flera vinster i att producera biodrivmedel. Det finns en möjlighet att öka total BRP i de tre länen med 3 000 MSEK respektive 3 500 MSEK då synergier utnyttjas. Detta motsvarar en ökning om ungefär 1 procent av total BRP i länen idag och totalt 2 000 respektive 2 300 arbetstillfällen. Detta motsvarar maximalt ungefär 1500 MSEK och nästan 1000 arbetstillfällen per producerad TWh. Direkt vinst är ungefär en tiondel av ökningen i BRP. Det maximala samhällsekonomiska vinsterna uppgår till 713 respektive 715 MSEK vid synergier, och dessa sammanfaller med maximal produktion av drivmedel. Dessa vinster utgörs framförallt av globala samhällsekonomiska vinster i form av minskade utsläpp av koldioxid. Det är därmed alltid lönsamt för en offentlig aktör att producera och använda biodrivmedel istället för användning av fossila drivmedel. Biogas och etanol är bästa alternativen med avseende på detta medan RME endast har positiva effekter i form av minskade globala utsläpp.

Det finns möjliga negativa effekter av samproduktion med kraftvärmeindustrin. Dessa beror av ett ökat elpris eller ytterligare faktorer som kan förändra förutsättningarna för att producera vätgas. Eftersom vätgas är en stor del av drivmedelsproduktionen kan detta medföra en betydlig påverkan på mängden drivmedel. Inga andra negativa effekter kunde identifieras, främst på grund av att övriga synergier endast medförde en liten ökning av den totala drivmedelsproduktionen.

Biogasen kräver nya och/eller förändrade styrmedel för att den ska konkurrera kostnadsmässigt med etanol på den svenska biodrivmedelsmarknaden. Biogas är det mest energieffektiva drivmedlet och bidrar dessutom med störst positiva effekter på den regionala tillväxten.

## Referenslista

Alla Bolag, 2016a. *Alla bolag AB*.

Tillgänglig: <https://www.allabolag.se/5560280611/lantmannen-agroetanol-ab>  
[Använd 12 oktober 2017].

Alla bolag, 2016b. *Alla bolag AB*.

Tillgänglig: <https://www.allabolag.se/5567178115/ecobransle-i-karlshamn-ab>  
[Använd 30 oktober 2017].

Anastopoulos, G., Ypatia, Z., Stamoulis, S. & Kalligeros, S., 2009.

Transesterification of Vegetable Oils with Ethanol and Characterization of the Key Properties of Ethyl Esters. *Energies*, ss. 362-376.

Anderson, S., Westling, N., Soutukorva, Å. & Wallentin, E., 2016. *Värdet av biogas. En samhällsekonomisk analys av biogasens nyttor*, u.o.: Energikontor Norra Småland.

Andersson Wahlman, N., u.d. *Från kraftvärmeverk till energikombinat - En fallstudie av kräftvärmeverket i Sala*, Västerås: Mälardalens Högskola.

Arvidsson, L. & Lindkvist, S., 2014. *Bilaga A tillståndsansökan*. u.o.:Sweco.

Arvidsson, R., Persson, S., Fröling, M. & Svanström, M., 2011. Life cycle assessment of hydrotreated vegetable oil from rape, oil palm and Jatropha. *Journal of Cleaner Production*, ss. 129-137.

Avfall Sverige, 2013. *Förbehandling av matavfall för biogasproduktion*, u.o.: Avfall Sverige.

Avfall Sverige, 2014. *Bränslekvalitet - Sammansättning och egenskaper för avfallsbränsle till energiåtervinning*, Malmö: Avfall Sverige.

Avfall Sverige, 2015. *Hushållsavfall i siffror - Kommun- och länsstatistik 2014*, u.o.: Avfall Sverige.

- Bassani, I., 2017. *Hydrogen assisted biological biogas upgrading*, Lyngby: DTU Environment.
- Bauer, F., Hulteberg, C., Persson, T. & Tamm, D., 2013. *Biogas upgrading - Review of commercial technologies*, Malmö: Svenskt Gastekniskt Center.
- Benjaminsson, G., Benjaminsson, J. & Boogh Rudberg, R., 2013. *Power-to-Gas-A technical review*, Malmö: Svenskt Gastekniskt Center AB.
- Benjaminsson, J. & Linné, M., 2007. *Biogasanläggningar med 300 GWh årsproduktion - system, teknik och ekonomi*, u.o.: Svenskt Gastekniskt Center AB.
- Berglund, M. & Börjesson, P., 2003. *Energianalys av biogassystem*, Lund: Lunds tekniska högskola.
- Bernesson, S., 2004a. *Life cycle assessment of rapeseed oil, rape methyl ester and ethanol as fuels - a comparison between large- and smallscale production*, Uppsala: Sveriges Lantbruksuniversitet.
- Bernesson, S., 2007. *Användningsområden för biprodukterna vid pressning och omförestring av rapsolja*, Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet.
- Bernesson, S., Nilsson, D. & Hansson, P.-A., 2004b. A limited LCA comparing large- and small-scale production of rape methyl ester (RME) under Swedish conditions. *Biomass and Bioenergy*, ss. 545-559.
- Bernesson, S., Nilsson, D. & Hansson, P.-A., 2006. A limited LCA comparing large- and small-scale production of ethanol for heavy engines under Swedish conditions. *Biomass and Bioenergy*, ss. 46-57.
- Bhandari, R., Trudewind, A. C. & Zapp, P., 2014. Life cycle assessment of hydrogen production via electrolysis - a review. *Journal of Cleaner Production*, vol. 85, ss. 151-163.
- Bioenergi, 2016. Biokraft 2016. *Bioenergi*.
- Biogas Öst, 2010. *Mångdubbla produktion och användning av biogas till fordonsdrift i Västmanlands län*, Uppsala: Biogas Öst.
- Biogas Öst, 2012. *Utbud och efterfrågan på fordonsgas i Biogas Öst regionen*, Uppsala: Biogas Öst.
- Biogas Öst, 2017a. *Det svenska biogassystemet - nyckeln till cirkulär ekonomi*, 2017: Biogas Öst.

Biogas Öst, 2017b.

Tillgänglig:

<http://avfall.biogasost.se/?lan=S%C3%B6rmland&obl=&sortering=&miljotaxa=&villa=&flerfamiljhus=&pase=&behandling=> [Använd 19 september 2017].

Biogas Öst, 2017c. *Biogas Öst*.

Tillgänglig: <http://www.biogasost.se/KartaStatistik.aspx> [Använd 19 september 2017].

Biogas Öst, 2017d. *Biogas Öst*.

Tillgänglig: <http://biogasost.se/Om-oss> [Använd 13 december 2017].

Bixia, 2017. *Bixia*.

Tillgänglig: <https://www.bixia.se/om-bixia/press/nyheter/2017/ingen-risk-for-skyhoga-elpriser> [Använd 13 december 2017].

Björnsson, L. & Lantz, M., 2013. *Energigrödor för biogasproduktion*, Lund: Lunds universitet.

Byfors, S., 2014. *Hur lokal bioenergi kan bidra till att Uppsala når klimatmålet 2050*, Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet.

Bångman, G., 2012. *Introduktion till samhällsekonomisk analys*, u.o.: Trafikverket.

Börjesson, P., 2006. *Energibalans för bioetanol*, Lund: Lunds tekniska högskola.

Börjesson, P., Lundgren, J., Ahlgren, S. & Nyström, I., 2013. *Dagens och framtidens hållbara biodrivmedel - Underlagsrapport från f3 till utredningen om FossilFri Fordonstrafik*, Lund: The Swedish Knowledge Centre for Renewable Transportation Fuels.

Börjesson, P., Tufvesson, L. & Lantz, M., 2010. *Livscykelanalys av svenska biodrivmedel*, Lund: Lunds universitet.

Carlsson, M. & Uldal, M., 2009. *Substrathandbok för biogasproduktion*, u.o.: Svenskt Gastekniskt Center.

Cherubini, F., 2010. The biorefinery concept: Using biomass instead of oil for producing energy and chemicals. *Energy Conversion and Management*, ss. 1412-1421.

Christensson, K. o.a., 2009. *Gårdsbiogashandbok*, u.o.: Svenskt Gastekniskt Center.

Deublein, D. & Steinhauser, A., 2011. *Biogas from Waste and Renewable Resources*. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co..

Ecobränsle , u.d. *Ecobränsle*.

Tillgänglig: <http://www.ecobransle.se/> [Använd 30 oktober 2017].

Egnell, G., 2013. *Skogsbränsle*, u.o.: Skogsstyrelsen.

ENA Energi AB, 2015. *Årsredovisning för ENA Energi AB 2015*, Enköping: ENA Energi AB.

Energimyndigheten, 2010. *Förslag till en sektorsövergripande biogasstrategi*, u.o.: Energimyndigheten.

Energimyndigheten, 2011. *Analys av marknaderna för etanol och biodiesel*, Eskilstuna: Energimyndigheten.

Energimyndigheten, 2013. *Analys av marknaderna för biodrivmedel, Tema: Fordonsgasmarknaden*, Stockholm: Energimyndigheten.

Energimyndigheten, 2015. *Förslag till nationell biogasstrategi*, u.o.: Energimyndigheten.

Energimyndigheten, 2016a. *Marknaderna för biodrivmedel 2016*, Eskilstuna: Energimyndigheten.

Energimyndigheten, 2016b. *Produktion och användning av biogas och rötresten år 2015*, Eskilstuna: Energimyndigheten.

Energimyndigheten, 2017a. *Transportsektorns energianvändning 2016*, Eskilstuna: Energimyndigheten.

Energimyndigheten, 2017b. *Energiläget 2017*, u.o.: Energimyndigheten.

Energimyndigheten, 2017c. *Övervakningsrapport avseende skattebefrielse för biogas som används som motorbränsle under 2016*, Eskilstuna: Energimyndigheten.

Energimyndigheten, 2017d. *Energiindikatorer 2017 Uppföljning av Sveriges energipolitiska mål*, Eskilstuna: Energimyndigheten.

Energimyndigheten, 2017e. *Övervakningsrapport avseende skattebefrielse för flytande biodrivmedel under året 2016*, Eskilstuna: Energimyndigheten.

Ericsson, Å., 2017. *Tekniska Verken*.

Tillgänglig: <https://www.tekniskaverken.se/om-oss/anlaggningar/kraftvarmeverk/kraftvarmeverket-i-katrineholm/> [Använd 28 december 2017]

- Eriksson, L. & Rehnlund, B., 2008. *RME en översiktlig genomgång*, Stockholm: Miljöbilar i Stockholm, Stockholms stad.
- f3centre, 2016. HEFA/HVO, Hydroprocessed Esters and Fatty Acids. *F3 Fact Sheet*.
- Fjärrsyn, 2011. *Utmaningar, hot och möjligheter för fjärrvärmeföretagen*, u.o.: Fjärrsyn.
- Forsberg, J., 2009. *Biogasens expansion i Östra Mellansverige - identifiering av potentiella biogashotspots*, Uppsala: u.n.
- Freppaz, D. o.a., 2004. Optimizing forest biomass exploitation for energy supply at a regional level. *Biomass and Bioenergy*, ss. 15-25.
- Gasum, u.d. *Gasum*. Tillgänglig: <https://www.gasum.com/sv/biogasanlaggningar/vara-anlaggningar/vasteras/> [Använd 20 januari 2018].
- Gode, J., Byman, K., Persson, A. & Trygg, L., 2009. *Miljövärdering ur systemperspektiv*, u.o.: Svenska miljöinstitutet.
- Gode, J., Hagberg, L., Holmgren, K. & Stripple, H., 2007. *Bioenergikombinat - tekniktrender, system och styrmedel*, Stockholm: Vräneforsk.
- Gonela, V. & Zhang, J., 2014. Design of the optimal industrial symbiosis system to improve bioethanol production. *Journal of Cleaner Production*, ss. 513-534.
- Götz, M. o.a., 2016. Renewable Power-to-Gas: A technological and economic review. *Renewable Energy*, ss. 1371-1390.
- Hagberg, L., 2008. *Samproduktion av etanol och kraftvärme*, Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet.
- Hagman, L., Blumenthal, A. & Eklund, M. S. N., 2017. The role of biogas solutions in sustainable biorefineries. *Journal of Cleaner Production*, ss. 1-8.
- Hillier, F. S. & Lieberman, G. J., 2010. *Introduction to Operations Research*. 9 red. New York: McGraw-Hill.
- Hjort, A. o.a., 2017. *Samhällsekonomisk analys av biodiesel, biogas och el i bussar för kollektivtrafik*, Stockholm: IVL Svenska Miljöinstitutet.
- Hjortsberg, H., 2017. *Naturvårdsverket*. Tillgänglig: <http://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Uppdelat-efter-omrade/Samhallsekonomiska-analyser/Miljoekonomi/> [Använd 11 december 2017].

Holgersson, P. o.a., 2011. *Substratmarknadsanalys*, Malmö: Avfall Sverige.

Hwang, J.-J., 2013. Sustainability study of hydrogen pathways for fuel cell vehicle applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, ss. 220-229.

IEA Bioenergy, 2009. *Biorefineries: adding value to the sustainable utilisation of biomass*, u.o.: IEA Bioenergy.

Jarvis, Å. & Schnürer, A., 2009. *Mikrobiologisk handbok för biogasanläggningar*, u.o.: Svenskt Gastekniskt Center.

Jordbruksverket, 2016. *Jordbruksverket*.

Tillgänglig:

<https://www.jordbruksverket.se/amnesomraden/djur/olikaslagsdjur/notkreatur/betesgangochutevistelse/djurformjolkproduktion.4.17f5bc3614d8ea10709196ae.html>

[Använd 02 november 2017].

Jordbruksverket, 2017. *Statistiska centralbyrån*.

Tillgänglig:

[http://www.scb.se/contentassets/efc4643df6db4b1ca700fd88d4e568f6/jo0104\\_2017a01\\_sm\\_jo10sm1702.pdf](http://www.scb.se/contentassets/efc4643df6db4b1ca700fd88d4e568f6/jo0104_2017a01_sm_jo10sm1702.pdf) [Använd 20 september 2017].

JTI, 2007. *Bioenergiportalen*.

Tillgänglig: <http://www.bioenergiportalen.se/?p=1480&> [Använd 11 oktober 2017].

JTI, 2011. *Bioenergiportalen*.

Tillgänglig: <http://www.bioenergiportalen.se/?p=2465&m=1583> [Använd 24 oktober 2017].

JTI, 2012. *Bioenergiportalen*.

Tillgänglig:

<http://www.bioenergiportalen.se/?p=1457&m=1459&page=biogasprocessen>

[Använd 30 november 2017].

JTI, 2013. *Bioenergiportalen*.

Tillgänglig: <http://www.bioenergiportalen.se/?p=1590> [Använd 22 september 2017].

Jönsson, M., 2017. *Energiföretagen*.

Tillgänglig: <https://www.energiforetagen.se/statistik/fjarrvarmestatik/tillford-energi/> [Använd 19 september 2017].

Karlsson, A.-M., 2016. *Jordbruksverket*.

Tillgänglig: <https://jordbruketisiffror.wordpress.com/2016/02/26/mjolkkor-och-mjolkforetag-i-norden-1983-2015/> [Använd 18 december 2017].



Khan, I. U. o.a., 2017. Biogas as renewable energy fuel - A review of biogas upgrading, utilisation and storage. *Energy Conversion and Management* , ss. 277-294.

Kim, J. o.a., 2011. Design of biomass processing network for biofuel production using an MILP model. *Biomass and Bioenergy*, ss. 853-871.

Klackenberg, L., 2017. *Energigas Sverige*.  
Tillgänglig: <http://www.energigas.se/fakta-om-gas/biogas/statistik-om-biogas/>  
[Använd 14 december 2017].

Klackenberg, L., 2017. *Statistik om biogas*.  
Tillgänglig: <http://www.energigas.se/fakta-om-gas/biogas/statistik-om-biogas/>  
[Använd 18 september 2017].

Koroneos, C., Dompros, A. & Moussiopoulos, N., 2004. Life cycle assessment of hydrogen fuel production processes. *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 29, ss. 1443-1450.

Lantmännen Agroetanol, 2017a. *Lantmännen Agroetanol*.  
Tillgänglig: <https://www.lantmannenagroetanol.se/om-oss/om-oss-innovation/cirkular-ekonomi/> [Använd 18 december 2017].

Lantmännen Agroetanol, 2017b. *Lantmännen Agroetanol*.  
Tillgänglig: <https://www.lantmannenagroetanol.se/om-oss/om-oss-innovation/AGROinLOG/> [Använd 18 december 2017].

Larsson, M., 2015. *The role of methane and hydrogen in a fossil-free Swedish transport sector*, Stockholm: Kungliga tekniska högskolan.

Lille, L., 2007. *Upsala nya tidning*.  
Tillgänglig: <http://www.unt.se/nyheter/enkoping/sateri-gor-ett-eget-drivmedel-av-raps-410188.aspx> [Använd 20 september 2017].

Lindow, V., 2009. *Sammankoppling av fjärrvärmenäten i Nyköping och Oxelösund - Miljö och systemkonsekvenser*, Uppsala: Sveriges Lantbruksuniversitet.

Linné, M. o.a., 2008. *Den svenska biogaspotentialen från inhemska restprodukter*, Lund: Biomil AB i samarbete med Enviro AB .

Lundberg, J., 2011. *Metan från förgasning av biomassa - En potentialstudie i Biogas Öst-regionen*, Lund: Lunds tekniska högskola.

- Luo, G. o.a., 2012. Simultaneous Hydrogen Utilization and In Situ Biogas Upgrading in an Anaerobic Reactor. *Biotechnology and Bioengineering*, 109(4), ss. 1088-1094.
- Länsstyrelsen Uppsala län, 2011. *Klimat- och energistrategi för Uppsala län 2011*, Uppsala: Länsstyrelsen Uppsala län.
- Martin, M. & Eklund, M., 2011. Improving the environmental performance of biofuels with industrial symbiosis. *Biomass and Bioenergy*, ss. 1747-1755.
- Moestedt, J., 2015. *Biogas Production from Thin Stillage - Exploring the microbial response to sulphate and ammonia*, Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet.
- Mohseni, F., Görling, M., Lindén, M. & Larsson, M., 2017. *Genomförbarhetsstudie för Power to Gas på Gotland*, u.o.: Energiforsk.
- Mälarenergi, 2014. *Miljörapport. Kungsängens reningsverk 2014*, u.o.: Mälarenergi.
- Mälarenergi, 2016. *Mälarenergis Hållbarhetsredovisning 2016*, u.o.: Mälarenergi.
- Nartker, S. o.a., 2014. Increasing biogas production from sewage sludge anaerobic co-digestion process by adding crude glycerol from biodiesel industry. *Waste Management*, ss. 2567-2571.
- National Institute of Standards and Technology, 2017a. *NIST Chemistry Webbook*. Tillgänglig: <http://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?Formula=CH4&NoIon=on&Units=SI&cTG=on&cTR=on> [Använd 14 november 2017].
- National Institute of Standards and Technology, 2017b. *NIST Chemistry Webbook*. Tillgänglig: <http://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=C7732185&Units=SI&Mask=2#Thermo-Condensed> [Använd 14 november 2017].
- Nationalencyklopedin, u.d. *Nationalencyklopedin*. Tillgänglig: <https://www-nese.ezproxy.its.uu.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/energibalans> [Använd 14 november 2017].
- Naturvårdsverket, 2005. *Förbränningsanläggningar för energiproduktion inklusive rökgaskondensering*, u.o.: Naturvårdsverket.
- Naturvårdsverket, 2017. *Etappmålen*, u.o.: Naturvårdsverket.

- Nikander, S., 2008. *Greenhouse gas and energy intensity of product chain: case transport biofuel*, Helsinki: Helsinki University of Technology.
- Nikolaidis, P. & Poullikkas, A., 2017. A comparative overview of hydrogen production processes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 67, ss. 597-611.
- Nilsson, D., 2006. *Etanol från sockerbeter - Förstudie om möjligheterna till storskalig produktion i Blekinge*, Karlskrona: Länsstyrelsen Blekinge län.
- Nilsson, D. & Bernesson, S., 2009. *Halm som bränsle- Del 1: Tillgångar och skördetidpunkter*, Uppsala: Sveriges Lantbruksuniversitet.
- Nordström, E.-L., 2015. *Fossilfri kollektivtrafik*, Stockholm: Kungliga tekniska högskolan.
- Näslund, M., 2011. *Energigasteknik*. Malmö: Svensk gastekniskt center.
- Paulsson, P., 2007. *Energianalys av etanolproduktion; En fallstudie av Lantmännen Agroetanols produktionssystem i Norrköping*, Uppsala: Sveriges Lantbruksuniversitet.
- Persson, M., 2003. *Utvärdering av uppgraderingstekniker för biogas*, Lund: Svenskt Gastekniks Center.
- Persson, T. o.a., 2014. *A perspective on the potential role of biogas in smart energy grids*, u.o.: IEA Bioenergy.
- Prade, T. o.a., 2015. *Vall och helsäd ger mycket biogas!*, Alnarp: Sveriges lantbruksuniversitet.
- Regeringskansliet, 2015. *En nationell strategi för hållbar regional tillväxt och attraktionskraft*, u.o.: Regeringskansliet.
- Regeringskansliet, 2017. *Regeringskansliet*.  
Tillgänglig: <http://www.regeringen.se/artiklar/2017/09/bonus-malus-och-branslebytet/> [Använd 07 december 2017].
- Region Skåne, 2012. *Biogas, tillväxt och sysselsättning - effekter av färdplanen på produktion och från användning*, Stockholm: Region Skåne.
- Russka, J., Sorsa, A., Lilja, J. & Leiviskä, K., 2017. Mass-balance Based Multivariate Modelling of Basic Oxygen Furnace Used in Steel Industry. *IFAC PapersOnLine*, vol. 50, ss. 13784-13789.

Rydegran, E., 2017. *Energiföretagen*.

Tillgänglig: <https://www.energiforetagen.se/sa-fungerar-det/kraftvarme/> [Använd 19 september 2017].

Sansaniwal, S., Rosen, M. & Tyagi, S., 2017. Global challenges in the sustainable development of biomass gasification: An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 80, ss. 23-43.

Sárvári Horváth, I. o.a., 2017. *Utilization of Straw Pellets and Briquettes as Co-Substrates at Biogas Plants*, u.o.: Energiforsk.

Schnürer, A., u.d. *Biogasproduktion från halm-betydelsen av ångexplosion val av ymp*, Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet.

SGC, 2012. *Basdata om biogas*, Malmö: Svenskt Gastekniskt Center.

Skogsstyrelsen, 2014. *Skogsstatistik Årsbok 2014*, Jönköping: Skogsstyrelsen.

SOU, 2007. *Bioenergi från jordbruket - en växande resurs*, Stockholm: SOU.

Spence, A., Poortinga, W. & Pidgeon, N., 2012. The Psychological Distance of Climate Change. *Risk Analysis*, ss. 957-972.

Statistiska centralbyrån, 2005. *Regional ekonomiska tillväxt - förutsättningar, indikatorer och mått*, Örebro: Statistiska centralbyrån.

Statistiska Centralbyrån, 2016. *Statistiska Centralbyrån*.

Tillgänglig: <https://www.scb.se/hitta-statistik/statistik-efter-amne/nationalrakenskaper/nationalrakenskaper/regionalrakenskaper/pong/statistik/nyhet/regionalrakenskaper-2014/> [Använd 13 december 2017].

Statistiska Centralbyrån, 2017. *Statistiska Centralbyrån*.

Tillgänglig: <https://www.scb.se/hitta-statistik/statistik-efter-amne/befolkning/befolkningens-sammansattning/befolkningsstatistik/pong/tabell-och-diagram/kvartals--och-halvarsstatistik--kommun-lan-och-riket/kvartal-2-2017/> [Använd 13 december 2017].

Sundgren, C., 1998. *Beräkning av bruttoregionprodukt*, Umeå: CERUM.

Svenska Petroleum och Biodrivmedel Institutet, 2016. *Branschfakta 2016*, u.o.: SPBI.

Svenska Petroleum och Biodrivmedel Institutet, 2017. *Branschfakta 2017*, u.o.: SPBI.

Svenskt Vatten, 2013. *Slamanvändning och strategier för slamanvändning*, Stockholm: Svenskt Vatten.

- Svensson, K., 2017. *Energimyndigheten*.  
Tillgänglig: <http://www.energimyndigheten.se/effekter-av-vara-satsningar/biogasutlysningen-artikel-1-forbehandling-av-substrat/> [Använd 18 december 2017].
- Särnefält, H., 2015. *Modellering av klimatpåverkan från Enköpings avloppsreningsverk*, Uppsala: Uppsala Universitet.
- Söder, L., 2016. *På väg mot en elförsörjning baserad på enbart förnybar el i Sverige*, Stockholm: KTH.
- Tekniska Verken, 2014. *Kraftvärmeverket i Katrineholm*, Katrineholm: Tekniska verken .
- Torvutredningen, 2002. *Uthållig användning av torv (SOU 2002:100)*, Stockholm: Sveriges Riksdag.
- Trafikverket, 2016. *Analysmetod och samhällsekonomiska kalkylvärden för transportsektorn: ASEK 6.0*, u.o.: Trafikverket.
- Trink, T. o.a., 2010. Regional economic impacts of biomass based energy service use: A comparison across crops and technologies for East Styria, Austria. *Energy Policy*, ss. 5912-5926.
- Tufvesson, L. & Lantz, M., 2012. *Livscykelanalys av biogas från restprodukter*, Lund: Lunds tekniska högskola.
- Tufvesson, L., Lantz, M. & Björnsson, L., 2013. *Miljönytta och samhällsekonomiskt värde vid produktion av biogas från gödsel*, Lund: Lunds Universitet.
- Uppenberg, S. o.a., 2001. *Miljöfaktabok för bränslen*, Stockholm: IVL Svenska Miljöinstitutet.
- Uppsala Vatten, 2014. *Miljörapport 2014 Storvreta avloppsreningsverk*, Uppsala: Uppsala Vatten.
- Uppsala Vatten, 2015. *Miljörapport 2015 Kungsängsverket*, Uppsala: Uppsala Vatten.
- Uppsala Vatten, 2016. *Miljörapport 2016 Biogasanläggningen vid Kungsängens gård*, Uppsala: Uppsala Vatten.
- VafabMiljö, u.d. *VafabMiljö*. Tillgänglig: <http://vafabmiljo.se/biogas/om-biogasanlaggningen/> [Använd 20 januari 2018].

- Wallmark, C., Mohseni, F. & Schaap, G., 2014. *Vätgasinfrastruktur för transporter - Fakta och konceptplan för Sverige 2014-2020*, u.o.: Sweco.
- Waluszewski, D., Johansson, J. & Torgnyson, E., 2011. *Biogas, tillväxt & sysselsättning - Hur påverkar produktion och användning av biogas tillväxt och sysselsättning i Biogas Östs region?*, u.o.: Biogas Öst.
- Van Gerpen, J., 2005. Biodiesel processing and production. *Fuel Processing Technology*, pp. 1097-1107.
- Vattenfall, 2016. *Vattenfall värme Uppsala Säkerhet, hälsa och miljö 2016*, Uppsala: Vattenfall Värme Uppsala.
- Vattenfall, 2017. *Vattenfall: Priser*.  
Tillgänglig: <https://www.vattenfall.se/globalassets/fjarrvarme/orter-foretag/orter-foretag-2017/prislista-fjarrvarme-uppsala-2017.pdf> [Använd 30 oktober 2017].
- Westerberg, N., 2017. *Energimyndigheten*. Tillgänglig: <http://www.energimyndigheten.se/fornybart/hallbarhetskriterier/reduktionsplikt/> [Använd 3 januari 2017].
- Vestman, J., Liljemark, S. & Svensson, M., 2014. *Kostnadsbild för produktion och distribution av fordonsgas*, Malmö: Svenskt Gastekniskt Center.
- Wibe, S., 2010. *Etanolens koldioxid effekter*, Stockholm: Regeringskansliet.
- Vogtländer, D. I. J. & Hendriks, P. D. I. C., 2004. *The Eco-cost/Value Ratio, Materials and Ecological Engineering*. 2:a red. Bostel: Aeneas.
- WSP, 2013. *Samhällsekonomiska aspekter på biogassatsning i Norr- och Västerbotten*, u.o.: WSP.
- Zeng, K. & Zhang, D., 2010. Recent progress in alkaline water electrolysis for hydrogen production and applications. *Progress in Energy and Combustion Science*, vol. 36, ss. 307-326.
- Österqvist, E., 2015. *Bioenergi potential i Södermanland*, Nyköping: Länsstyrelsen i Södermanlands län.

## Appendix 1 - Energidata

I *Tabell 1* presenteras data för energiinnehåll som använts i beräkningarna. I *Tabell 2* anges de energiinnehåll som använts för att konvertera data mellan olika enheter.

Tabell 1. Högre värmevärden för samtliga råvaror

Råvara	Värmevärde [MJ/kg TS]
Organiskt avfall	17,8 <sup>1</sup>
Slam	9,72 <sup>2</sup>
Gödsel	17,3 <sup>1</sup>
Halm	17,9 <sup>1</sup>
Odlingsrester/vall	17,6 <sup>1</sup>
Raps	27,7 <sup>1</sup>
Vete	18,4 <sup>1</sup>
Drank	17,3 <sup>1</sup>
Rapsmjöl	15,3 <sup>1</sup>
Brännbart avfall	17,7 <sup>3</sup>
Primära skogsbränslen	19,2 <sup>4</sup>
Rester skogsindustri	19,2 <sup>4</sup>

<sup>1</sup> Börjesson, et al. (2010)

<sup>2</sup> Beräknat från Svenskt Vatten (2013) samt Linné, et al. (2008)

<sup>3</sup> Beräknat med värmevärde och fukthalt enligt Avfall Sverige (2014)

<sup>4</sup> JTI (2013)

Tabell 2. Energiinnehåll drivmedel

	kWh/liter	kWh/Nm <sup>3</sup>
RME	9,20 <sup>1</sup>	
Etanol – E85	5,90 <sup>1</sup>	
Etanol – ren	5,34 <sup>2</sup>	
Biogas		34,9 <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Energimyndigheten (2017e)

<sup>2</sup> Beräknat från Energimyndigheten (2017e)

<sup>3</sup> Energimyndigheten (2017c)

## Appendix 2 - Kostnader och priser

För att beräkna kostnad och pris för FAME respektive etanol användes data i *Tabell 3* nedan. Priset för drivmedel enligt SPBI antogs exkludera skatt, moms och bruttomarginal. Produktionskostnaderna inkluderade bruttomarginal. Denna bruttomarginal subtraherades därmed från produktionskostnaden och adderades till priset.

Tabell 3. *Priser och kostnader för RME och etanol*

Drivmedel	Produktionskostnad inklusive bruttomarginal <sup>1</sup>	Pris exklusive skatt, moms och bruttomarginal <sup>2</sup>	Bruttomarginal <sup>1</sup>
Etanol	6,95	5,25	1,42
RME	9,35	7,05	1,07

<sup>1</sup> Energimyndigheten (2017e)

<sup>2</sup> Svenska Petroleum och Biodrivmedel Institutet (2017)



## Appendix 3 - Utsläpp

I *Tabell 4* och *Tabell 5* presenteras sammanställda data för utsläpp baserat på olika råvaror. Dessa baseras på *Tabell 6* till *Tabell 11*.

Tabell 4. *Utsläpp för respektive drivmedel, Modell 1*<sup>1</sup>

Råvara	Drivmedel	CO <sub>2</sub> [kg/MWh drivmedel]	SO <sub>2</sub> [kg/MWh drivmedel]	PO <sub>4</sub> [kg/MWh drivmedel]	Partiklar [kg/MWh drivmedel]
Organiskt avfall	Biogas	-8,21	0,376	0,129	-0,013
Vall	Biogas	41,07	0,469	0,275	0,002
Gödsel	Biogas	-144,30	0,587	0,111	0,005
Vete	Etanol	87,14	-0,058	0,149	0,034
Raps	RME	94,29	1,026	0,990	0,064
Fossil referens	Bensin och diesel	274,00	0,368	0,068	0,011

<sup>1</sup> Börjesson, et al. (2010)

Tabell 5. *Utsläpp för respektive drivmedel, Modell 2*

Råvara	Drivmedel	CO <sub>2</sub> [kg/MWh drivmedel] <sup>1</sup>	SO <sub>2</sub> [kg/MWh drivmedel] <sup>2</sup>	PO <sub>4</sub> [kg/MWh drivmedel] <sup>1</sup>	Partiklar [kg/MWh drivmedel] <sup>3</sup>
Organiskt avfall + vätgas	Biogas	19,25	0,182	0,023	0,119
Vall + vätgas	Biogas	19,25	0,182	0,023	0,119
Gödsel + vätgas	Biogas	19,25	0,182	0,023	0,119
Halm + vätgas	Biogas	19,25	0,182	0,023	0,119
Slam + vätgas	Biogas	19,25	0,182	0,023	0,119
Drank <sup>4</sup>	Biogas	172,90	2,371	1,832	-0,034
Rapsmjöl <sup>4</sup>	Biogas	149,30	2,346	1,507	-0,035
Vete <sup>5</sup>	Etanol	87,14	-0,058	0,149	0,023
Raps <sup>5</sup>	RME	94,29	1,026	0,990	0,049
Drank + vätgas	Biogas	19,25	0,182	0,023	0,119
Rapsmjöl + vätgas	Biogas	19,25	0,182	0,023	0,119
Fossil referens	Bensin och diesel	274,00	0,368	0,068	0,011

<sup>1</sup> Koroneos, et al. (2004)

<sup>2</sup> Bhandari, et al. (2014)

<sup>3</sup> Koroneos, et al. (2004) och

<sup>4</sup> Tufvesson & Lantz (2012). Data för rapsmjöl antogs vara samma som för rapskaka.

<sup>5</sup> Börjesson, et al. (2010)

I *Tabell 6* till *Tabell 11* presenteras indata för utsläpp av växthusgaser och luftföroreningar för drivmedel och vätgas. För att beräkna utsläpp vid användning i fordon antogs 72 procent av utsläppen ske i lätta fordon och 28 procent i tunga fordon. I *Tabell 9* antogs 72 procent av utsläppen komma från bensin och 28 procent från diesel.

Tabell 6. *Utsläpp växthusgaser för drivmedel av olika råvaror [g CO<sub>2</sub>-ekvivalenter/MJ]<sup>1</sup>*

Biomassa	Drivmedel	Systemutvidgning	Energiallokering	Ingen allokering	Slutanvändning i fordon, lätta	Slutanvändning i fordon, tunga
Vete	Etanol	24,4	30,9	-	-	-
Raps	RME	26,4	39,4	-	-	-
Organiskt avfall	Biogas	-2,3	10,3	-	0,9	0,9
Gödsel	Biogas	-40,4	11,4	-	0,9	0,9
Vall	Biogas	11,5	26,7	-	0,9	0,9
Drank <sup>2</sup>	Biogas	48,4	-	8,5	-	-
Rapskaka <sup>2</sup>	Biogas	41,8	-	4,0	-	-

<sup>1</sup> Börjesson, et al. (2010)

<sup>2</sup> Tufvesson & Lantz (2012)

Tabell 7. *Utsläpp övergödande ämnen för drivmedel av olika råvaror [mg PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-ekvivalenter/MJ]<sup>1</sup>*

Biomassa	Drivmedel	Systemutvidgning	Energiallokering	Ingen allokering	Slutanvändning i fordon, lätta	Slutanvändning i fordon, tunga
Vete	Etanol	30	147	-	1,0	39
Raps	RME	200	243	-	72	91
Organiskt avfall	Biogas	28	8	-	1,0	26
Gödsel	Biogas	23	9	-	1,0	26
Vall	Biogas	69	50	-	1,0	26
Drank <sup>2</sup>	Biogas	513	-	20,0	-	-
Rapskaka <sup>2</sup>	Biogas	422	-	14,7	-	-

<sup>1</sup> Börjesson, et al. (2010)

<sup>2</sup> Tufvesson & Lantz (2012)

Tabell 8. *Utsläpp försurande ämnen för drivmedel av olika råvaror [mg SO<sub>2</sub>-ekvivalenter/MJ]*<sup>1</sup>

Biomassa	Drivmedel	Systemutvidgning	Energiallokering	Ingen allokering	Slutanvändning i fordon, lätta	Slutanvändning i fordon, tunga
Vete	Etanol	-80	66	-	7,0	210
Raps	RME	-127	78	-	385	490
Organiskt avfall	Biogas	61	47	-	7,0	140
Gödsel	Biogas	120	49	-	7,0	140
Vall	Biogas	87	108	-	7,0	140
Drank <sup>2</sup>	Biogas	664	-	110	-	-
Rapskaka <sup>2</sup>	Biogas	657	-	79,7	-	-

<sup>1</sup> Börjesson, et al. (2010)

<sup>2</sup> Tufvesson & Lantz (2012)

Tabell 9. *Utsläpp av partiklar för drivmedel av olika råvaror [mg partiklar/MJ]*<sup>1</sup>

Biomassa	Drivmedel	Systemutvidgning	Energiallokering	Ingen allokering	Slutanvändning i fordon, lätta	Slutanvändning i fordon, tunga
Vete	Etanol	8,6	5,4	-	1,0	1,0
Raps	RME	10	5,8	-	10	3,0
Organiskt avfall	Biogas	-4,0	1,4	-	0,5	0,5
Gödsel	Biogas	0,8	1,5	-	0,5	0,5
Vall	Biogas	0,1	6,5	-	0,5	0,5
Drank <sup>2</sup>	Biogas	-9,6	-	1,0	-	-
Rapskaka <sup>2</sup>	Biogas	-9,8	-	0,3	-	-

<sup>1</sup> Börjesson, et al. (2010)

<sup>2</sup> Tufvesson & Lantz (2012)

Tabell 10. *Utsläpp vätgasproduktion*

[g CO <sub>2</sub> -ekvivalenter/MJ] <sup>1</sup>	[g PO <sub>4</sub> -ekvivalenter/MJ] <sup>1</sup>	[g SO <sub>2</sub> -ekvivalenter/MJ] <sup>2</sup>	[g partiklar/MJ] <sup>1</sup>
21	0,026	0,20	0,13

<sup>1</sup> Koroneos, et al. (2004)

<sup>2</sup> Bhandari, et al. (2014)

Tabell 11. *Utsläpp fossil referens<sup>1</sup>*

Drivmedel	[g CO <sub>2</sub> - ekvivalenter/MJ]	[g PO <sub>4</sub> - ekvivalenter/MJ]	[g SO <sub>2</sub> - ekvivalenter/MJ]	[g partiklar/MJ]
Bensin	72	1,0	7,0	2
Diesel	74	65	350	6,0

<sup>1</sup>Börjesson, et al. (2010)



SLU  
Institutionen för energi och teknik  
Box 7032  
750 07 UPPSALA  
Tel. 018-67 10 00  
pdf.fil: [www.slu.se/energiogteknik](http://www.slu.se/energiogteknik)

SLU  
Department of Energy and Technology  
P. O. Box 7032  
SE-750 07 UPPSALA  
SWEDEN  
Phone +46 18 671000