

Biogas och högvärdiga insatsråvaror från jordbruksrestströmmar i Västra Götalandsregionen

Mats Edström, Martin Hedberg, Carina Gunnarsson, Daniel Tamm, Hugo Westlin, Lovisa Eliasson, Liv Lundberg

Biogas och högvärdiga insatsråvaror från jordbruksrestströmmar i Västra Götalandsregionen

Mats Edström, Martin Hedberg, Carina Gunnarsson, Daniel Tamm, Hugo Westlin, Lovisa Eliasson, Liv Lundberg

Abstract

Biogas and fatty acids produced from agricultural biomasses for industrial use

The Swedish Industrial Biogas Commission is calling for 10 TWh of biogas/year (via digestion and gasification; by 2030). Current production is about 2 TWh/year, mainly from waste and sludge. The supply of organic waste is not sufficient to produce the required biogas.

Agriculture has significant amounts of residual biomass that can be digested (mainly manure and straw). With this fact taken into account, this project report also assumes that smaller parts of the arable land can be used for growing nitrogen-fixing grass/clover ley for biogas production, perhaps in combination with the production of protein feed for agriculture and fatty acids for industry in a biorefinery concept.

It is possible to use manure, straw and ley with smaller amounts of waste in the western part of Sweden (Västra Götaland, Skåne and Halland) to produce 3.5 to 5 TWh of biogas/year in large biogas plants (approx. 100 GWh/plant and year) for use in industry. Co-production of fatty acids and biogas is also possible, e.g. at least 16 plants are needed to cover identified industrial needs.

There are good opportunities for Bio-CCS, partly at the biogas plant, when biogas becomes biomethane, and partly in the industry where biomethane is used. Negative emissions possible, corresponding reduction of climate gases when biomethane replaces natural gas (5 TWh biomethane with CCS can reduce CO₂ emissions by about $\frac{3}{4}$ for the chemical and refinery industry segment). CO₂ can also be used for production of e-methane (Bio-CCU), but electricity shortages are a likely bottleneck.

The price of natural gas (including tax) compared to biogas with existing subsidies is estimated to be relatively similar. The current subsidy system is directed towards manure digestion, which only produces about $\frac{1}{5}$ of the potential biogas from agricultural biomass, which is why subsidies need to be modified to produce the biogas in demand. Fatty acids can also be produced using primarily pasture and waste via a biological process at a similar price level as today's fossil-based production method.

A future investment in building biorefineries, which generate renewable commodities can be one solution for the industrial green transition, with agricultural biomasses, but this can also contribute to the green transition of the agriculture. Difficulties with the studied system is that it is large with many actors, significant investment is needed to be realized, and clear incentives are needed to become an actor in the system also including the farmers, and there are technical and biological uncertainties in function. A clear question is who is prepared to take the lead in realizing this?

Key words: Biogas, biorefinery, arrested anaerobic digestion, bio-based volatile fatty acids, straw, ley-crop, manure, green transition of industry, Zero Industry Act, green transition of agriculture

RISE Research Institutes of Sweden AB

RISE Rapport 2025:45

ISBN: 978-91-90036-32-7

Innehåll

Abstract	1
Innehåll	3
Förord	5
Sammanfattning	6
1 Syfte och mål	9
2 Bakgrund	9
2.1 Röttningsprocessen och statistik över biogasproduktion	9
2.2 Underlag 1: Potential- och bioraffinaderistudier	10
2.3 Underlag 2: Studie om biogasdriven turbin som effektreserv	11
2.4 Odling av vallgröda på växtodlingsgårdar.....	11
2.5 Jordbruket i VG, Halland och Skåne.....	12
2.6 Västsvenska naturgasnätet.....	13
2.7 Bio-CCS och kolinlagring i mark	14
2.8 Stödsystem och handel av med utsläppsrätter.....	14
2.9 Pris på naturgas och biogas från nät samt skatter	16
2.10 Priser för flyktiga fettsyror som kommersiella produkter	18
2.11 Industripartnerernas nuläge inför omställningen.....	19
3 Systembeskrivning	20
3.1 Alternativa substratblandningar för rötning.....	20
3.2 Förbehandling av substrat.....	22
3.3 Rötning	22
3.4 Efterbehandling av rötrest	23
3.5 Integration av anläggning för fettsyraproduktion i en biogasanläggning.....	24
3.6 Uppgradering och förvätskning av biometan liksom koldioxid.....	27
3.7 Distribution via gasledning	28
3.8 Distribution av förvätskad biometan (bio-LNG).....	31
3.9 Transport av LCO ₂	32
4 Gröna näringarnas perspektiv	33
4.1 Växtnäring och vallprotein	34
4.2 Kolflöden och växtföljd.....	36
4.3 Använd affärsmodell för rötrest i den ekonomisk kalkylen	37
4.4 Värdering av vallens minskade miljöpåverkan	39
4.5 Värdering av halmens minskade miljöpåverkan.....	40
4.6 Värdering av rötrestens minskade miljöpåverkan	40
5 Ekonomi	42
5.1 Produktionskostnad för rågas	42
5.2 Beräkningsförutsättningar för gasuppgradering, förvätskning och gasledning	

5.3	Total investering (Alt 1)	44
5.4	Intäkter från koldioxidinfångning	45
5.5	Kostnad för biometan	45
5.6	Förslag på alternativt stödsystem	48
5.7	Stödsystemets kostnad	50
5.8	Produktionskostnad för fettsyror	51
6	Förenklad miljökonsekvensbetraktelse.....	52
7	Diskussion	55
7.1	Ekonomi och stöd	55
7.2	Regionala skillnader	56
7.3	Biogasanläggningen.....	56
7.4	Integrering av produktion av blandade flyktiga fettsyror i biogasanläggningen 56	
7.5	Gasdistribution och lagring	57
7.6	Vall och mellangrödor för avsättning till bioraffinaderi	57
7.7	Aktörer.....	58
7.8	Omställning, beredskap och biogasproduktion	59
7.9	Ökad biogasproduktion via biologisk metanisering av syngas alternativt via e- metan 60	
7.10	Reducerade utsläpp av klimatgaser.....	60
8	Slutsatser	62
9	Referenser	64
Bilagor	67	
	Bilaga 1. Delrapport kring förutsättningar för produktion av volatila fettsyror (VFA) från restprodukter från jordbruk i Västra Götalandsregionen (VG)	67
	Bilaga 2. Massbalanser för 8 olika biogasalternativ.	81

Förord

Denna studie har beskrivit en möjlig väg för att bidra till omställningen av västkustens processindustrier, i enlighet med uppställda mål i Zero Industry Act. Specifikt har det studerats hur industrin kan minska sitt beroende av fossilbaserade insatsmedel i sin produktion med insatsmedel som i stället framtagits i anläggningar med bioraffinaderi-utformning med biomassor huvudsakligen från jordbruket i regionerna Västra Götaland, Skånes och Halland med hänsyn till regionala förutsättningar. I studien har det genomförts en teknoekonomisk analys att från dessa biomassor, via storskaliga biologiska processer, framställa både biogas och fettsyror till industrin. Denna analys baserar sig på tidigare genomförda inventeringar av tillgång av biomassor vid jordbruket och övergripande föreslagit alternativa utformning av produktionsanläggningar för detta. En ansats har även föreslagits gällande strategi hur de producerade organiska gödselmedlen (rötrest) ska återföras till jordbruket för att möjliggöra hållbar och resurseffektivt nyttjande av växtnäringsämnen liksom kol, som bidrar till åkermarkens mullhalt. Konceptet bedöms ha potential att både kunna bli en viktig komponent i industrins omställning liksom jordbrukets.

Studien har finansierats av initiativet Klimatledande Processindustri (www.klimatledandeprocessindustri.se), som bedrivs inom Västsvenska Kemi- och Materialklustret. Projektet drevs av RISE AB, och i projektet representerades också följande parter:

- Perstorp
- Nordion Energi
- Preem
- Göteborg Energi
- Redo Biosolutions AB
- Brålanda Biogas
- Skaraborgs kommunalförbund
- Stenungsunds kommun
- Ineos/Inovyn
- LRF
- Energigas Sverige
- St1
- Innovatum/Biogas Väst

Tack alla för er medverkan, ni var viktiga för genomförandet av denna studie!

Sammanfattning.

Industrins biogaskommission (2025) har efterfrågat en inhemsk produktion av 10 TWh fossilfri gas/år antingen via rötning eller förgasning till år 2030 vilket också var Biogasmarknadsutredningens (SOU 2019:63) förslag på produktionsmål. Denna studie har undersökt förutsättningarna för utökad produktion av biogas och flyktiga fettsyror huvudsakligen med biomassor från jordbruket, för omställning av västkustens processindustrier. Studien har finansierats av initiativet Klimatledande Processindustri (www.klimatledandeprocessindustri.se), som bedrivs inom Västsvenska Kemi- och Materialklustret.

Tidigare genomförda biogaspotentialstudier har visat att rötning av biomassor från jordbruket kan generera betydande mängder biogas som kan räcka till för att fasa ut fossil naturgas i Sverige. Denna studie har studerat realiseringsmöjligheterna att röta dessa biomassor i hypotetiska anläggningar som drivs med konventionell teknik och genomfört teknoekonomiska beräkningar för dessa. Beräkningarna har utgått från regional tillgång av agrara biomassor i de tre regionerna Västra Götaland, Skåne och Halland. Mass- och energibalansberäkningar har genomförts för en anläggning i skalan 100 GWh biogas/år. Dessa beräkningar har genomförts för 8 olika substratblandningar som har tagits fram för att anpassa till respektive regions tillgång på jordbruksrestströmmar som gödsel och halm, men även odlad vallgröda. Beräkningarna utgår enbart från dessa tre kategorier, eftersom de bedöms ha störst potential att bidra till en framtida signifikant ökad biogasproduktion. Konceptet bygger på att halm och vallgröda lagras (vilket även sker idag då dessa biomassor används av jordbruket) mellan odlingssäsonger för att en jämn gasproduktion ska kunna uppnås. I tre av de studerade substratblandningarna används vallgrödan i bioraffinaderikoncept för produktion av proteinfoder med som huvudalternativ att vallresterna efter proteinutvinningen går vidare till biogasproduktion. I 6 av de studerade substratblandningarna ingår även direktrötning av vallgröda i olika omfattningar. I de 8 olika substratblandningar som jämförts beräknas 40 till dryga 70 % av biogasproduktionen komma från halm tillsammans med vallgröda (inklusive vallrester efter proteinproduktion) och 10 till dryga 40 % från gödsel. För en av dessa substratblandningar belyses det ett scenario där det i ett försteg finns ett separat biologiskt produktionssteg för blandade fettsyror som en högvärdig sidoström, för vidare förädling. Enbart de biomassor som har en hög andel lättomsättbart kol antas användas för denna produktion av fettsyror och detta produktionssteg integreras i biogasanläggningen, där restflöden efter fettsyraproduktionen används för biogasproduktion.

Metodiken har arbetats fram för Västra Götaland (VG) för att därefter även användas för Skåne och Halland. Producerad rågas vid biogasanläggningar antas behandlas med konventionell uppgraderingsteknik till en gas som i princip bara innehåller metan (s.k. biometan) och ett koldioxidflöde. Koldioxidflödet kan renas och förvätskas för att sedan transporteras till annan användning (Bio-CCU) eller slutlagring (Bio-CCS).

För producerad gas har två tänkbara spår undersökts: a) biometan komprimeras och transporteras i rörledning till västsvenska naturgasnätet; b) biometan förvätskas till flytande metan (bio-LNG) vid rötningsanläggningen varpå gasen transporteras med tankbil till industrikund. Med alternativet med för transport av biogas i VG i ny rörledning hamnar produktionskostnaden för biometan i naturgasnätet, utan stöd, på

109–123 öre/kWh (och utan skatter) och med alla idag tillgängliga stöd sjunker produktionspriset till 57–70 öre/kWh. Bio-LNG-spåret resulterar i ett något högre pris utan stöd och skatt på 124–138 öre/kWh, men ett lägre pris på 57–70 öre/kWh när alla stöd räknas med. Detta kan jämföras med naturgaspriset som år 2024 har legat på 77–111 öre/kWh inklusive skattepåskallag på ca 40 öre/kWh (energi- och CO₂-skatt). För industrier som köper utsläppsrätter skall adderas ytterligare ca 19 öre/kWh (motsvarar ca 750 kr/ton CO₂ från naturgas). Utgående från gjorda beräkningsförutsättningar verkar det därmed gå att producera biogas till industrin till en ungefärlig samma prisnivå som för dagens pris på naturgas. Det ska dock beaktas att den ekonomiska kalkylen utgår från ett antal beräkningsantaganden som vilar på osäker grund inklusive både tekniska och biologiska processmässiga osäkerheter. Andra parametrar som bidrar till osäkerheter i de ekonomiska kalkylerna är t.ex. att det system som den ekonomiska kalkylen omfattar är väldigt stort och omfattar ett flertal aktörskategorier och där de redovisade produktionskostnaderna saknar de olika aktörernas vinstpåslag. Krav på vinstnivå är kopplat till risk och att uppföra de första anläggningarna av detta slag är betingad med hög risk, liksom att en snabb utbyggnad av produktionen också påverkar krav på vinst. Vidare att det idag saknas ekonomiska modeller för t.ex. värdering av en fast rötrest och allokering av vallkostnad för bioraffinaderi som producerar vallprotein och rötter resterna efter denna utvinning mm. Detta innebär att de i denna studie redovisade produktionskostnader skall ses som indikativa, ge storleksordningar och ungefärliga fördelningar av kostnader på olika delmoment. Mer arbete behövs för att minska dessa osäkerheter och risker.

En förenklad miljökonsekvensbeskrivning har genomförts där potentialen för minskade utsläpp av klimatgaser har beräknats till 40 000–50 000 ton CO₂-ekv. per anläggning och år, där biometan som ersätter naturgas bidrar med dryga hälften av minskningen, medan Bio-CCS på avskild koldioxid från biogas vid gasuppgradering bidrar med dryga 1/4-del av minskningen (Bio-CCS används ej vid biogasanläggningar idag) och minskade utsläpp vid jordbruket med ca 1/5-del (dels minskar behovet av insatsmedel, dels ökar takten gällande inlagring av kol i mark). Utgående från Biogasmarknadsutredningens produktionsmål kopplat till biogas via rötning kommer det behövas ca 50 av de 100 GWh-anläggningar som beskrivs i denna studie vilket tillsammans skulle resultera i minskade utsläpp av klimatgaser motsvarande 2 till 2,5 miljoner ton CO₂-ekv/år. Detta motsvarar en minskning av klimatgasutsläppen för hela industrin på upp till ca 13 %, men om denna reduktion av klimatgaser bara allokeras till kemiindustri och raffinaderier motsvara detta en minskning för detta industrisegment på upp till ca 50 %. Använder industrin biometan istället för naturgas kan detta generera ytterligare utsläppsminskningar om det även installeras Bio-CCS från industrins processer.

Förutsättningarna för biologisk produktion av fettsyror bedöms vara bäst för de anläggningsalternativ där det även produceras foderprotein från vallgröda, eftersom denna foderprocess genererar ett bra restflöde med lättomsättbart kol för fettsyraproduktion. För att producera mängder av enskilda flyktiga fettsyror som är i paritet med vad industrin (Perstorp AB) producerar idag inom Stenungsundsklustret verkar det preliminärt behövas minst 16 anläggningar av den typen med produktion av foderprotein från vallgröda.. Mängden vallbaserad proteinfoder som dessa 16 anläggningar kan producera matchar ganska väl bedömd efterfrågan på importerat sojaprotein i VG, Halland och Skåne. Effekten av att på detta sätt integrera ett framställningssteg av fettsyror i en biogasanläggning, är att gasproduktionen

uppskattningsvis blir ca 20 % lägre än om utvinningssteget av fettsyror saknas (bygger på beräkningar och bedömningar, men där det saknas försök som verifierar detta). Produktionskostnaden har beräknats till ca 10-11 kr/kg blandade flyktiga fettsyror, där fettsyrorerna är en blandning av ättik-, propion-, smör-, valerian- och kapronsyra.

I alternativ där det huvudsakligen är gödsel och halm som samrötas med mindre mängder vallgröda och organiskt avfall från livsmedelsindustri eller hushåll, kan det maximalt uppföras ca 10 anläggningar i VG liksom i Skåne och ca 3 i Halland. Om det däremot antas att vallgröda adderas till systemet, där vallen odlas för foderproteinframställning och där resterna rötas alternativt att vallen direktrötas, beräknas det maximalt kunna uppföras ca 30 anläggningar i VG, närmare 40 i Skåne och ca 6 i Halland.

Biomassorna gödsel och halm är restflöden som redan idag finns tillgängliga vid jordbruket. Däremot behöver den vall som en anläggning använder i sin drift att odlas. För att uppskatta behovet av areal för vallodling som används för framställning av vallprotein, biogas, men även potentiellt för framställning av fettsyror, har beräkningar för två olika fall genomförts. Det ena fallet bygger på att det i totalt i VG, Halland och Skåne ska produceras 3,5 TWh biogas (dvs 35 st. 100 GWh-anläggningar) där halm och gödsel i en högre grad bidrar till biogasproduktionen, och då behövs det en total odling av vallgröda på ca 58 000 ha där ca 70 % av vallen också används för proteinutvinning. I det andra fallet ska det produceras 5 TWh biogas (dvs 50 st. 100 GWh-anläggningar) där halm och gödsel i en lägre grad bidrar till biogasproduktionen, och då blir den total odlingen av vallgröda dryga 90 000 ha där ca 50 % av vallen också används för proteinutvinning.

I arbetet har det även skissats på en alternativ utformning av stödpaket, med ansatsen att stödkostnad i öre/kWh biogas ska bli ungefär lika stor som dagens stöd. Det har konstaterats att en framtida skattebefrielse av biogas fortsatt är en hörnpelare för biogasens konkurrenskraft mot fossil energi liksom att investeringsbidrag som t.ex. klimatklivet erbjuder också är viktig för att möjliggöra investeringar. Vår bedömning är dock att de stöd och premier som idag finns (gödselgasstöd, uppgraderingsstöd och förvätskningsstöd) inte är anpassade för att maximera biogasproduktionen i Sverige för att matcha industrins efterfrågan. Det i studien skissade alternativa stödsystemet styr bättre mot maximerad biogasproduktion men ger även lantbrukarna incitament att leverera halm och vallgröda för rötning (blast och mellangröda inkluderas även här). Dessutom bör det finnas incitament för att dels investera i teknik som möjliggör generell minskad miljöbelastning, dels effektivare utnyttjande av resurser.

Det finns tekniska utmaningar med att röta fiberrika substratblandningar som behöver studeras vidare liksom att antagna gasutbyten i kontinuerliga röttningsprocesser för halm behöver verifieras i försök. Vidare finns det stora utmaningar att implementera konceptet, med tanke på att det inte är tydligt vilka aktörer som kan tänkas vara drivande, samt hur risker ska fördelas mellan aktörer. Det behöver även finnas tillräckliga ekonomiska incitament för jordbrukarna, för att majoriteten av dem ska vara beredda att leverera den halm och odla vallgröda för att substratförsörja anläggningarna. Samtidigt erbjuder konceptet möjlighet att vara en del i omställningen av samhälle, industri och jordbruk.

1 Syfte och mål

Projektet syftar till att undersöka förutsättningarna till utökad produktion av biogas och högvärdiga insatsråvaror, med fokus på flyktiga fettsyror, för omställning av västkustens processindustrier genom större utnyttjande av jordbruksrestströmmar men även med rester från foderproteinframställning med odlad vallgröda i Västra Götalandsregionen (VGR). Med framtagen metodik ska även potentiellt bidrag till biogasproduktionen från Skånes och Hallands jordbruk uppskattas. I detta arbete inkluderas att beräkna produktionskostnad för biogas liksom kostnaderna för några alternativa distributionsvägar till industrin.

Målet med projektet är att visa att biogas:

- producerad i VG med biomassor från jordbruket som inte är i konflikt med ILUC enligt Olsson m.fl. (2023) kan ersätta fossil naturgas med ca 1,2 TWh/år utan att påtagligt minska jordbrukets produktion av livsmedelsråvara.
- producerad i Skåne och Halland med samma upplägg som för VG men med skattning av tillgång på gödsel och halm enligt Broberg m. fl. (2022) tillsammans kan ersätta fossil naturgas med ca 1,5 TWh/år.
- kartlägga behov av biogas och fettsyror hos industripartner i projektet och genomföra en indikativ beräkning över potentialen att även producera dessa fettsyror från de biomassor som antas finnas tillgängliga för rötning i de studerade biogasalternativen.
- föreslå stöd och styrmedel för konkurrenskraftig biogasproduktion samt ta fram förslag för kommande steg vidare mot etablering och investering

2 Bakgrund

2.1 Röttningsprocessen och statistik över biogasproduktion

Rötning är en mikrobiell nedbrytningsprocess av organiskt material som sker vid syrefria förhållanden där det bildas biogas som huvudsakligen består av metan (ofta ca 55–65 %) och koldioxid (ofta ca 35–45 %). I denna rapport kallas den gas som röttningsprocessen genererar för rågas.

Det finns många olika typer av röttningsprocesser, men den vanligaste i Sverige är en s. k. enstegs totalomblandad våt process (CSTR). Den bygger på att innehållet i röt-kammaren effektivt går att röra om så att sammansättningen och temperaturen är densamma i hela röt-kammaren. Omblandning av röt-kammaren sker oftast med en propelleromrörare. Denna rötningsteknik är dominant på grund av sin enkelhet, där teknisk utformning är anpassad för samrötning av våta och torrare råvaror liksom att den har ett lägre investeringsbehov per tankvolym. Däremot är tekniken mindre lämplig för att röta en hög andel torrare fiberrika biomassor med låg nedbrytningsgrad som t.ex. halm. I substratblandningar med högre andel halm är troligen pluggflödesrötning en mer lämplig teknik för biogasproduktion. Det finns några anläggningar av detta slag i Sverige, men de rötar huvudsakligen avfall. Tekniken har ett högre investeringsbehov per tankvolym än de totalomblandade processerna.

Enligt Energigas Sverige (2024) rötade samrötningsanläggningar 792 000 ton/år avfall livsmedelsindustri (inkl. slakterier) och matavfall från hushåll samt 700 000 ton gödsel/år. Vidare rötades 2 000 ton restprodukter/år från jordbruket som troligen framför allt inkluderar sekunda spannmål och rester från spannmålshantering men fraktionen inkluderar även blast och halm. Vidare rötades 14 000 ton energigrödor/år men inga mellangrödor (gröda som odlas mellan huvudgrödor). Från dessa biomassor producerar samrötningsanläggningarna tillsammans 1155 GWh per år. Total biogasproduktionen i Sverige (exklusive deponigas) var år 2023 på 2155 GWh per år (se tabell 1) och inkluderar även biogas producerad vid reningsverk (715 GWh), gårdsbaserade biogasanläggningar (132 GWh) och industrianläggningar (152 GWh). De gårdsbaserade anläggningarna rötar ungefär lika mycket gödsel som samrötningsanläggningarna vilket medför att det totalt rötas ca 1,46 miljoner ton gödsel/år. Av biogasproduktionen i VG, Halland och Skåne på totalt 862 GWh/år injicerades ca 39 % i västsvenska gasnätet (tabell 1). Dessutom importerades det 1428 GWh/år biogas till det västsvenska gasnätet (Energigas, 2024).

Användningen av LBG i Sverige var 2023 var 626 GWh/år varav närmare 30 % producerades i Sverige och resten importerades.

Tabell 1. Länsvis biogasproduktion via rötning (exklusive deponigas) i Västra Götaland, Halland och Skåne samt för hela Sverige år 2022 (Energigas Sverige, 2024).

	VG	Halland	Skåne	Sverige	Enhet
Biogasproduktion	333	126	403	2 155	GWh/år
Injicerad biometan i gasnät	67	63	225	535	GWh/år

2.2 Underlag 1: Potential- och bioraffinaderistudier

Det har nyligen genomförts två olika studier som undersökt hur mycket biogas som går att utvinna från jordbrukets biomassor i VG via rötning:

- Broberg m. fl, (2022) utgår från att beräkna en potentiell biogasproduktion (2200 GWh/år) från gödsel, odlingsrester (huvudsakligen halm) samt odling av vallgröda på arealer som ligger i träda men även från avfall, se tabell 2.
- Olsson m. fl, (2023) använder liknade metodik som Broberg för att beräkna gasproduktion från gödsel men det finns en betydande metodikskillnad i att beräkna biogasproduktion från vall och halm, se tabell 2. För vallgrödan utgår Olsson ifrån att det finns flera orsaker till att öka odlingen av vallgröda i regionen enligt a) introduktion av vallodling på växtodlingsgårdar kan bidra till ökad kolinlagring i åkermark, ökad bördighet och bättre växtföljder som långsiktigt leder till högre skördar, b) om vallgrödan består av klöver eller lucern kommer den fånga luftkväve och detta bidrar till minskat behov av att köpa in kvävegödselmedel, c) det går att utvinna protein från vall för foderapplikationer vilket kan ersätta importerat sojaprotein. Konceptet leder till reducerad odling av spannmålsgrödor, men den ökade spannmålsavkastningen som introduktion av vallodling kan resultera i kompensera delvis för detta. Denna studie innehåller dels en total potentialberäkning på 2500 GWh biogas/år för VG, dels en bedömning över de områden där det finns goda förutsättningar att röta identifierade biomassor i 13 större regionalt fördelade biogasanläggningar som tillsammans skulle kunna producera ca 900 GWh biogas/år och 1,5 miljoner ton rötrest.

Tabell 2. Beräknad möjlig biogasproduktion ("Gasprod" med enheten GWh biogas/år) via biomassor från jordbruket i VG och bidraget till denna biogasproduktion (med enhet % av beräknad biogasproduktion) från olika råvarukategorier enligt två olika undersökningar.

	Gödsel, % av gas	Halm, % av gas	Vall/vallrester, % av gas	Avfall, % av gas	Övrigt, % av gas	Gasprod., GWh/år
Broberg m. fl. 2022-potential	19	54	5	12	10	2200
Olsson m. fl. 2023- potential	28	18	51 a)	-	4	2500
Olsson m. fl. 2023- bedömd rötning i 13 anläggningar	20	9	48 b)	23	-	900

- a) Denna beräkning bygger på att det enbart är vallrester som rötas efter proteinutvinning för foderanvändning
b) Denna beräkning bygger på att det är en blandning av vall som direktrotas respektive vallrester efter proteinutvinning

Produktionskostnaden för biogas (exklusive uppgradering av biogasen till drivmedelskvalitet samt att ej inkludera eventuella investeringsbidrag via Klimatklivet och ej heller produktionsstöd för biogas från gödsel) beräknades av Olsson m.fl. (2023) till i storleksordningen 86 öre/kWh biogas.

2.3 Underlag 2: Studie om biogasdriven turbin som effektreserv

Denna rapport är en vidareutveckling av Edström m.fl. (2024) där det togs fram en skissartad beskrivning för en biogasdriven turbin med effekt på 500 MW_{el} som effektreserv i Västra Götaland (VG). Den utredningen jämförde mass- och energiflödena liksom produktionskostnaden för biogas med 4 olika råvarublandningar för att utnyttja jordbrukets i VG tillgängliga restbiomassor i form av stallgödsel och halm liksom möjlig odling av vallgröda för rötning. Denna rapport utnyttjar 3 av de alternativa råvarublandningar från utredningen som här kallas "Ref", "Alt 1" och "Alt 2" för storskalig biogasproduktion i anläggningar med skalan 100 GWh biogas per år. Det ska noteras att alternativet "Ref" ursprungligen togs fram av Olsson m.fl. 2023.

I Edström m.fl. (2024) togs det även fram kostnader för att jämföra två olika metoder att distribuera producerad uppgraderad biogas (kallas framgent biometan), dels via ett nytt gasnät som knyts ihop med det befintliga västsvenska naturgasnätet, dels via lastbilstransport av förvätskad biometan. Denna studie använder även dessa kostnadsberäkningar.

2.4 Odling av vallgröda på växtodlingsgårdar

Jordbrukets specialisering har inneburit att allt större andel av spannmålsproduktionen sker på gårdar i slättbygder helt utan djurhållning vilket långsiktigt påverkar markstrukturen negativt. En ensidig stråsödsodling riskerar vidare att ge flera negativa effekter vilka på längre sikt kan leda till försämrad produktionsförmåga. Ökad vallodling (flerårig odling av t.ex. kvävefixerande grödor som klöver och lusern samt gräs som timotej och rörsvingel) på dessa gårdar, som kan användas för biogasproduktion, kan

vara ett effektivt sätt att bryta denna trend vilket långsiktigt kan leda till ökad mullhalt och förbättrad markstruktur (t.ex. Johansson m. fl. 1993, Sundberg m. fl. 1997).

Vall är den dominerande grödan i Sverige idag och odlas främst för foder till idisslare. Vallgrödans positiva effekt på åkermarkens mullhalt och därmed högre kolhalt har nyligen aktualiserats. Henryson m.fl. (2022) redovisar att koncentrationen av markkol i åkermark på svenska gårdar med mjölkproduktion var 0,7 procentenheter högre än på gårdar med växtodling. Jämfört mot gårdar med grisproduktion var denna skillnad 0,6 procentenheter och där mängden markkol var proportionerlig mot avsatt areal för vallodling. Förutom att markkol utgör en kolsänka har Kätterer m.fl. (2024) meddelat att en skillnad i markkol på 1 procentenhet resulterade i 16 % ökad avkastning vid odling av majs. Analysen var att den viktigaste orsaken till denna skördeökning var att den vattenhållande förmågan i åkermark ökade med ökad mängd markkol, vilket i framtiden kan bli en allt viktigare faktor i svensk växtodling, med varmare klimat och längre torkperioder. Rasse m.fl. (2005) rapporterar att vallen har stor potential att lagra in kol i marken framför allt via dess stora rotsystem eftersom en större del av kolet i rötter binds in i stabila kolföreningar jämfört med ovanjordiska skörderester. Vidare har LRF (2023) lyft att en viktig del i jordbrukets gröna omställning är att öka kolinlagringen i åkermark genom att introducera vallodling i växtföljden på växtodlingsgårdar utan djur. Detta kan vara en effektiv åtgärd med dubbel klimatnytta där vallodlingen bidrar till negativa utsläpp av klimatgaser och där skördad vallgröda används i bioraffinaderi för framställning av förnödenheter till jordbruket med lägre klimatavtryck än de som används idag, samtidigt som självförsörjningsgraden ökar.

Den svenska tolkningen av Annex IX i RED är att det är tillåtet att använda vallgröda som biogassubstrat enligt regelverk för biogasstöd och anläggningsbesked (Lindholm pers. medd.). Det kan även konstateras att Miljömålsberedningen (SOU 2025:21) lägger ett förslag att biogasstödet utvidgas så att det även inkluderar produktion av biogas från vall.

2.5 Jordbruket i VG, Halland och Skåne

För att relatera de i denna studie angivna arealbehov för de studerade biogasalternativen samt de växtnäringsmängder som finns i den genererade rötresten görs i detta kapitel en kort beskrivning av jordbruket i de tre studerade områdena samt behov av mineralgödsel. I Sverige finns ca 2,92 miljoner ha jordbruksmark varav ca 40 % återfinns i VG, Halland och Skåne (från <https://jordbruksverket.se>), se tabell 3.

Tabell 3. Jordbruksmark och åkermarkens användning i Västra Götaland, Halland och Skåne och andel av åkermarken som används till odling av spannmål, vete, oljeväxter, grovfoder samt areal i träda.

	VG	Halland	Skåne	Summa	Enhet
Jordbruksmark	526	123	496	1145	1000 ha
-varav spannmål	204	43	207	453	1000 ha
-varav vete	94	18	110	222	1000 ha
-varav oljeväxter	19	5	45	69	1000 ha
-varav träda	25	2	7	35	1000 ha
-varav grovfoder	185	49	109	342	1000 ha

I tabell 4 redovisas antal lantbruksdjur för år 2023 som genererar gödsel som kan rötas. Utöver detta finns enligt Svenska Ridsportförbundet ca 350 000 hästar i Sverige.

Tabell 4. Antalet lantbruksdjur i Västra Götaland, Halland, Skåne och i Sverige.

	VG	Halland	Skåne	Sverige	Enhet
Nötkreatur	257	85	209	1 444	1000 st
-varav mjölkkor	52	23	34	296	1000 st
Grisar	281	119	395	1 304	1000 st
Fjäderfän	3 309	1 285	3 143	21 885	1000 st

I tabell 5 redovisas försäljning av mineralgödsel för brutna året 2022/2023.

Tabell 5. Försäljning av mineralgödsel i Sverige och Västra Götaland, Halland och Skåne.

	VG	Halland	Skåne	Sverige	Enhet
Kväve	34,0	8,8	50,8	184,0	1000 ton
Fosfor	2,9	0,4	3,7	11,7	1000 ton
Kalium	3,7	1,0	8,6	21,1	1000 ton
Svavel	4,8	1,2	7,1	25,8	1000 ton

2.6 Västsvenska naturgasnätet

Via det västsvenska naturgasnätet (bild 1) leds det årligen 7 till 8 TWh gas, huvudsakligen via rörledning från Danmark. Det västsvenska naturgasnätet utgörs av ett transmissionsnät som är cirka 600 kilometer långt (Malmö till Stenungsund) samt ett distributionsnät som uppskattningsvis är 2 800 km långt (www.energimyndigheten.se). Gaskonsumtionen sommartid är ca 10–12 GWh/dag, ca 30–40 GWh/dag vid mildare vinterväder och ca 50–60 GWh/dag vid kallare vinterväder (Boëtius, 2023). Gastrycket i distributionsledningen från Malmö upp till Mölndal är ofta 50–60 bar, trycket i resterande sträcka upp till Stenungsund är ca 25–30 bar. I den del av transmissionsnätet som har det högre dimensionerande trycket på 80 bar kan ledningen ha en diameter på omkring en meter (www.energigas.se). Denna ledning grävs ner ca 1 meter, varför odling kan ske som normalt om ledningen dras i åkermark. I distributionsnätet är gastrycket ca 4 bar. I Sverige finns ett mindre gaslager (Skallen) på ca 80 GWh vars syfte är att utjämna kortvariga konsumtionstoppar, men Sverige måste dock förlita sig på lagringsanläggningar i andra länder, främst i Danmark för säsongslagring av gas (Boëtius, 2023). Gastrycket i gaslagret Skallen kan som högst vara 200 bar (www.wikipedia.org).



Bild 1. Västsvenska naturgasnätet (Källa: www.energimyndigheten.se). Rågasnätet i Brålanda finns också inritad med röd linje i bilden.

2.7 Bio-CCS och kolinlagring i mark

Enligt Hassler (2023) bygger det svenska klimatmålet att till 2045 uppnå ”nettonollutsläpp” på kompletterande åtgärder (som inkluderar ökad kolinlagring, bio-CCS, investeringar i andra länder som leder till utsläppsminskningar) som ger negativa utsläpp av klimatgaser på max 10,7 miljoner ton CO₂eq/år. Negativa utsläpp innebär att koldioxid minskar i atmosfären genom exempelvis ökad beskogning, ökad kolinlagring i mark, eller genom att fånga in och lagra CO₂ av biogent ursprung i geologiska formationer, även kallat bio-CCS.

2.8 Stödsystem och handel av med utsläppsrätter

Sverige

I Sverige finns för närvarande följande stödåtgärder för biogasproduktion:

- Investeringsbidrag som kallas klimatklivet sökas. Enligt Gruppundantagsförordningen har stödnivåerna för företag legat på mellan ca 30–50 % (Naturvårdsverket).
- Producenter av biogas kan erhålla produktionsstöd på upp till 0,40 SEK/kWh (SFS nr: 2022:225) för den gas som kommer från gödsel.
- Produktionsstöd för uppgradering av biogas upp till 30 öre/kWh liksom till förvätskning av uppgraderad biogas upp till 15 öre/kWh (SFS nr: 2022:225).
- Enligt ett nytt beslut i EU (oktober 2024) kommer Sverige åter tillåtas skattebefria biogasen. Men det kvarstår att fatta beslut i Sverige om att genomföra en ny skattebefrielse för biogas.

EU

EU:s gröna omställning (Green Deal) kommer vara vägledande för att uppnå fastställda mål och innehåller t.ex.:

- 55 % paketet som syftar till att omsätta Green Deals klimatambitioner i lagstiftning
- En Europeisk klimatlag, dvs en förordning (innehåller t.ex. att a: minska utsläppen av klimatgaser med minst 55 % till år 2030, b: uppnå klimatneutralitet år 2050, c: kostnadseffektiv och socialt rättvis omställning: kartlägga takten på omställningen och övervaka och redovisa framsteg på väg mot målet
- Flera olika strategier som a: klimatanpassning, b: biologisk mångfald 2030, c: Från jord till bord-strategi (t.ex. stödja en hållbar livsmedelsproduktion), d: EU:s industristrategi

Green Deal innehåller t.ex. åtgärder som:

- Green Deal Industrial Plan som innehåller Net-Zero Industry Act om att fossilfri industriproduktion ska öka Europas konkurrenskraft och ge nya gröna arbeten
- Investering i miljövänlig teknik
- Stöttar innovation
- Hjälper utveckling av renare transporter
- Avkarboniserar energisektorn

EU:s handel av utsläppsrätter som kallas EU ETS omfattar tung industri, kraftproduktion och flygtrafik inom EU med priser enligt bild 2. Den kallas i denna rapport EU ETS1. Priset på utsläppsrätter var den 20 januari 2025 77,99 € per ton CO₂ vilket med en kurs på 11,50 SEK/€ motsvarar ett pris på 897 kr/ton CO₂. Med utsläppsfaktorn 0,248 kg CO₂/kWh för naturgas (Naturvårdsverket 2023) innebär detta en kostnad för naturgas på 22,2 öre/kWh naturgas ifall verksamheten är med i handeln av utsläppsrätter.

EU kommer sjösätta ett separat handelssystem för utsläppsrätter som kallas ETS 2. ETS 2 är skilt från det befintliga utsläppshandelssystemet, EU ETS (ETS 1), med ett eget utsläppstak och egna utsläppsrätter (www.naturvardsverket.se). I ETS 2 ”ingår koldioxidutsläpp från förbränning av bränslen från vägtransporter, bostäder och kommersiella eller offentliga lokaler, jordbruk, skogsbruk, och fritidsbåtar. Det omfattar även delar av energi-, tillverknings- och byggindustrin som inte redan täcks av ETS 1. ETS 2 är ett uppströmssystem där ansvar och skyldigheter i huvudsak ligger hos producenter och leverantörer istället för enskilda bränsleanvändare.”

År 2027 ska auktionering och handel av ETS 2-utsläppsrätter påbörjas och ETS 2 förväntas vara fullt implementerat år 2028 (www.naturvardsverket.se).

Enligt Hassler (2023) finns även EU-mål om kolinlagring i skog och mark (den så kallade LULUCF-sektorn, dvs Land Use, Land Use Change and Forestry) som kan påverka den ekonomiska kalkylen för biomassor från jordbruket.

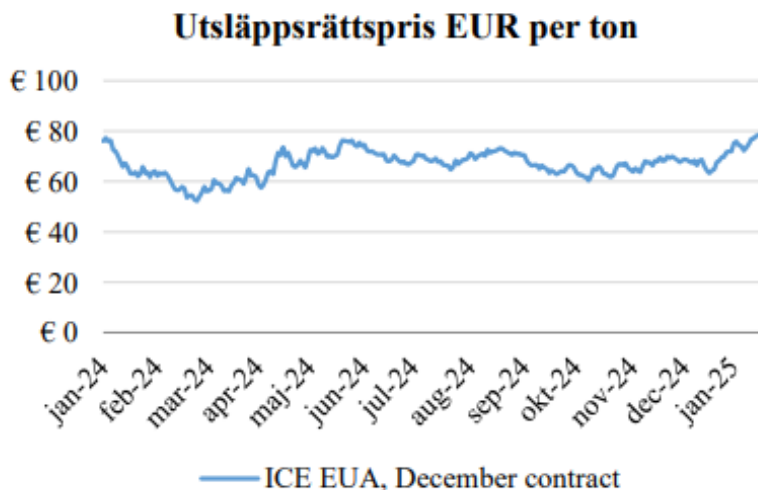


Bild 2. Priset på EU ETS fram till vecka 4 år 2025 för utsläppsrätter i Euro/ton CO₂.

Biogasmarknadsutredningen

Det stödsystem som idag finns i Sverige (finns beskriven ovan) följer Biogasmarknadsutredningens förslag gällande ”Stödpaket I” (SOU 2019:63). Biogasmarknadsutredningens förslag vidare ett mål att det i Sverige ska produceras 10 TWh biogas/år till år 2030, där 7 TWh/år ska komma från rötning.

Biogasmarknadsutredningen omnämnde ett förslag om ett efterföljande ”Stödpaket II” som ej har implementerats. Stödpaket II skulle gälla bredare för produktion av förnybara energigas som syngas från förgasning. Förslaget om ett Stödpaket II inkluderade:

- ”finansiella verktyg såsom lån och garantier” med syfte att minska den företagsekonomiska risken och kapitalkostnader
- ”en premie för produktion och förädling av biogas och andra förnybara gaser” för att kunna nå produktionsmålet och bidra till att nå de klimat- och energipolitiska målen. Premienivån föreslogs sättas genom ett auktionsförfarande.

”Motivet till premien i stödpaket II var att nya tekniker bör kommersialiseras eftersom dessa bedöms som nödvändiga för att sektorer såsom industri och sjöfart ska kunna övergå till att använda biogas och andra förnybara gaser i stor skala”.

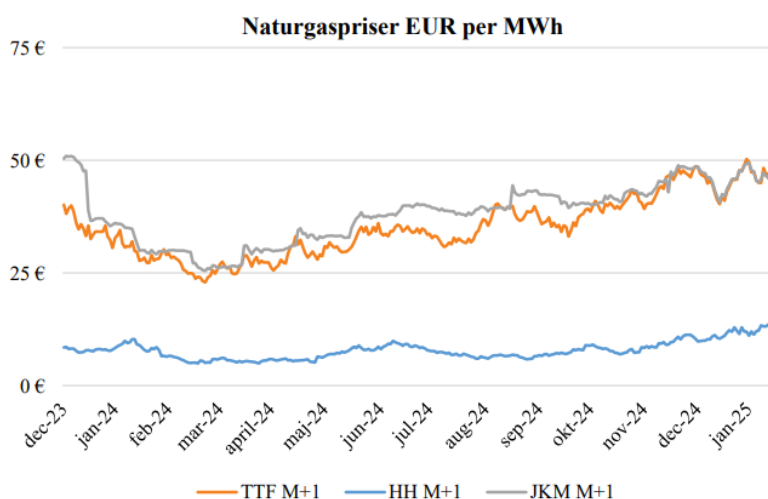
2.9 Pris på naturgas och biogas från nät samt skatter

Priset på naturgas och biogas köpta från nätet har varierat mycket de senaste 3 åren, se tabell 6. Exempelvis var priset för naturgas i december 2024 69 öre/kWh exklusive nätavgift och skatter hos Öresundskraft och priset på biogas var 125 öre/kWh. Variationer på rörligt pris för både naturgas och biogas köpta från nätet för företag redovisas i tabell 6.

Tabell 6. Variationerna på rörligt pris för både naturgas och biogas köpta från nätet via Öresundskraft för företag men exklusive nätaavgift och skatter (dvs energiskatt och CO₂-avgift). I tabellen visas högsta respektive lägsta månadsmedelvärdet för respektive år.

År	Naturgas	Biogas	Enhet
2022	100–286	131–319	öre/kWh
2023	46–86	116–156	öre/kWh
2024	35–69	95–125	öre/kWh

Gasprisets variation är framför allt beroende av världsmarknadspriset på naturgas, se bild 3 (Källa: www.energimyndigheten.se). Priset på naturgas enligt TTF M+1 (nordvästeuropeiska naturgasmarknaden) var 17 januari 2025 45,81 €/MWh. Med 1 € = 11,50 SEK medför detta ett gaspris på ca 52,7 öre/kWh.



Källa: Montel.

Bild 3. Priset på naturgas i Euro/MWh. Priset på nordvästeuropeiska naturgasmarknaden beskrivs av grafen "TTF M+1". Priset på asiatiska marknaden beskrivs av grafen "JKM M+1" och amerikanska av grafen "HH M+1".

På dessa rörliga gaskostnader tillkommer skatter som under en period har varit lika för naturgas och biogas, men enligt ett nytt beslut i EU (oktober 2024) kommer Sverige åter tillåtas skattebefria biogasen. Skatten för naturgas i gasform respektive i förvätskad form är från och med 1 januari 2025 (<https://skatteverket.se/>) följande:

- För naturgas som används till annat än drivmedel till fordon/båt är skatten 4492 kr/1000 m³ och skatten utgörs av koldioxidskatt på 3233 kr/1000 m³ plus energiskatt på 1259 kr/1000 m³. Med ett effektivt värmevärde på 10,5 MWh/1000 Nm³ (www.energigas.se) blir detta en totalbeskattning på ca 42,8 öre/kWh där energiskattens bidrag är ca 12,0 öre/kWh. Om naturgas används som drivmedel faller energiskatten bort.
- Biogas i gasform liksom förvätskad form är skattebefriad
- För förvätskad naturgas (LNG) som används till annat än drivmedel till fordon/båt är skatten 6009 kr/ton och skatten utgörs av koldioxidskatt på 4544 kr/ton plus energiskatt på 1465 kr/ton. Med ett effektivt värmevärde på 13,7 MWh/ton (www.energigas.se) blir

detta en totalbeskattning på ca 43,9 öre/kWh där energiskattens bidrag är ca 10,7 öre/kWh. Om LNG används som drivmedel faller energiskatten bort.

2.10 Priser för flyktiga fettsyror som kommersiella produkter

Som nämnt i bilaga 1 till denna rapport så representerar flyktiga fettsyror på totalen något högre värden per kg än biometan där förnybara varianter med stor sannolikhet kan säljas med en grön premie gentemot dagens fossila varianter (för i akademisk litteratur publicerade globala bulkpriser för flyktiga fettsyror både i rena och blandade former rapporterade fram till 2015, vilka dock korrigerats något som förklaras bl a i bilaga 1) men de är också väsentligt svårare att isolera i ren form från de utspädda och innehållsmässigt komplexa vattenlösningar som genereras från s k Arrested Anaerobic Digestion-processer (AAD) d v s den typ av process som exempelvis beskrivs i Giduthuri et al. (2023), något som naturligt leder till högre produktionskostnader. Detta medför att produktion av rena flyktiga fettsyror idag sker med en helt annan industriell process som utgår från helt andra råvaror som i normalfallet är fossila men som går att substituera med förnybara varianter, se bilaga 1. Perstorp AB producerar sedan länge valda flyktiga fettsyror (ex vis propionsyra, smörsyra och valeriansyra) med den s k Oxo-processen som kortfattat beskrivs i bilaga 1. När det gäller produktionsvolymerna för flyktiga fettsyror så ligger dessa ungefär inom intervallet för s k för kategorin specialkemikalier där ett exempel som tas upp här är valeriansyra som verkar produceras globalt i totala årsvolymerna på runt 140 kton. Exempel på de talrika användningsområden som finns för flyktiga fettsyror är som startmaterial för syntetiska smörjmedel, råvaror för syntes av andra molekyler i allmänhet inklusive läkemedel och jordbrukskemikalier, som tillsatser i livsmedel och i foder samt som startmaterial för tillsatser inom flavor and fragrance-industrin m. fl. tillämpningsområden. På sistone har blandade flyktiga fettsyror varit föremål för intresse gällande tillverkning av hållbart flygbränsle (sustainable aviation fuels, SAF), något som vid fullskalig kommersiell applikation mycket signifikant skulle öka efterfrågan (se ex vis i Huq, et al. 2021). Ungefärliga priser per ton för rena resp. blandade flyktiga fettsyror anges nedan:

- Blandade flyktiga fettsyror som renats från andra föroreningar verkar betinga ett värde på upp till runt 1,4 kUSD/ton.
- Ungefärliga bulkpriser för valda enskilda flyktiga fettsyror med raka kolledjorutan grön premie (för förklaringar och bakgrund till prisangivelser, se bilaga 1): Ättiksyra 0,3-0,6 kUSD/ton; propionsyra 1 kUSD/ton; smörsyra 1,1-1,5 kUSD/ton; valeriansyra 2,1 kUSD/ton och kapronsyra 1,9 kUSD/ton. Med tanke på inflationen kan samtliga dessa priser idag möjligen vara något högre.
- För grenade flyktiga fettsyror som iso-smörsyra och iso-valeriansyra anges liknande världsmarknadspriser d v s <3 kUSD/ton.
- Prisnivåer per ton för biometan anges i samma källa till ca 0,15 kUSD/ton och vidare resonemang kring prissättning för biometan med andra enheter förs ovan under avsnitt 2.9.
- Av de flyktiga fettsyror som undersökts i denna rapport verkar det högsta priset kunna tas ut för valeriansyra.

2.11 Industripartnerernas nuläge inför omställningen

Utgående från en i denna studie genomförd inventering av nuläget för de petrokemiska företagen som är med i klustret Västsvenska Kemi- och Materialklustret och som deltagit i detta projekt kan det kort beskrivas enligt följande:

1. Tillsammans använder de ca 6,4 TWh fossilgas varav ca 95 % utgörs av naturgas/biogas och återvunna restgaser som köpts från andra företag.
2. Andelen naturgas i ”naturgas/biogas” i punkt 1 är över 98 %, resten utgörs av biogas
3. Det finns betydande variation i gasanvändningen under året? Däremot är variationen under en arbetsvecka relativt liten
4. Är industrin kopplad till västsvenska naturgasnätet köps naturgas/biogas därifrån. I annat fall köps gas i form av LNG/LBG.
5. Gas används huvudsakligen som vätgaskälla liksom vätgas- och kolkälla (s.k. syntesgas). Gas används även som stödbränsle, ångtillverkning och värmeproduktion.
6. Gas köps in både via kontrakt och till ”spotpris”
7. Företagen deltar i handeln av utsläppsrätter i nuvarande ETS-system
8. När det kommande ETS 2-systemet rapporterar 2 av 3 att de troligen inte kommer involveras i denna handel.
9. Alla företagen undersöker möjligheter för bio-CCS/CCU med koldioxid som genereras från deras industri. Antingen i form av pågående projekt eller att de finns i framtidsplanerna.
10. Två av tre företag rapporterar att tillgång på elektricitet är en flaskhals för en övergång från naturgas till vätgas. Vid petrokemiska processer som också behöver en kolkälla är övergång till vätgas från el ej en framkomlig väg.
11. Företagen har uppställda mål kopplat till fossilfri produktion och reducera genererad avfall där årtalen 2030 till 2050 omnämns.
12. Företagen har eget reningsverk för behandling av avloppsvatten generad av industriprocesserna. Om strömmar innehåller alkoholer, återvinns dessa. Samma gäller för andra kolväten än alkoholer.
13. Företagen har inga eller mycket små restgasflöden från processer som innehåller brännbara gaser som vätgas och/eller kolmonoxid som facklas. Finns dessa gaser i restgasflöde återvinns de i mycket hög grad

Industrins Biogaskommission (2025) föreslår åtgärder för att det i Sverige ska produceras 10 TWh biogas år 2030 via rötning, förgasning och e-metan, eftersom enbart elektrifieringen (för vätgasproduktion) ej kan lösa industrins omställning. Ökningen av biogasproduktion föreslås i ett:

- första steg ske huvudsakligen komma från utökad rötning av matavfall, livsmedelsindustriavfall, och gödsel
- andra steg föreslås rötning av halm, vallgröda och mellangröda.
- tredje steg biogas via förgasning av biomassor från skogen

Följande partner i denna studie har också varit med i Industrins Biogaskommission: a)Perstorp, b)Nordion och c)Energigas Sverige.

3 Systembeskrivning

3.1 Alternativa substratblandningar för rötning

Under projektet har beräkningar av mass- och energibalanser för 19 olika alternativa substratblandningar jämförts där 8 alternativ har valts ut, se tabell 7 och bilaga 2. Förutsättningarna för att få fram agrar biomassa för rötning (dvs gödsel, halm och odlad vallgröda) varierar mycket mellan VG, Halland och Skåne och de 8 alternativen har tagits fram utgående från att:

- alternativen Ref-Ref d, Alt 1 och Alt 9b har vallgröda som huvudsubstratet (antingen i form av rester efter proteinutvinning alternativt i form av direktrötning)
- alternativen Alt 2 och Alt 8b har halm som huvudsubstrat
- alternativet Alt 6f har gödsel som huvudsubstrat

Kriterier för valet för alla utom alternativet Ref har varit att få en jämn och balanserad utnyttjandegrad av den bedömda tillgången av biomassorna gödsel och halm tillsammans med en antagen areal som avsätts till vallodling där skördad vallgröda används för proteinutvinning och/eller direktrötning antingen i Västra Götaland, Halland eller Skåne. Jämn och balanserad utnyttjandegrad medför effektiv utnyttjandegrad av biomassorna där de räcker till ungefär lika många anläggningar och att de därmed tar slut samtidigt, se tabell 8.

I tabell 7 redovisas några relationer i substratblandningar för gödsel, halm, vallgröda och rester efter utvinning av vallprotein, som tillsammans bidrar med dryga 80 % av gasproduktionen för en 100 GWh-anläggning. Resterande gasproduktion kommer i samtliga alternativen från samma mängd råvaror, som inte skiljer sig åt mellan alternativen och utgörs av avfall samt smärre mängder av andra biomassor från jordbruket. Rötningen antas ske med CSTR röttningsprocess där det antas att TS-halten i huvudrötkammaren som högst får vara 9,5 %. Alternativen kan beskrivas enligt följande:

- **Ref, Ref c och Ref d:** Alternativ som inkluderar produktion av vallprotein från färsk vall som odlas på ca 2 500 ha per anläggning, där resterna efter proteinutvinningen rötas. Ref inkluderar att även ensilerad vallgröda odlad på ca 500 ha direktrötas utan proteinutvinning vilket inte är fallet för Ref c och Ref d, se tabell 7 och 8. Andelen gödsel i substratblandningen Ref c har anpassats för att effektivt nyttja tillgången av gödsel i Skåne (potentialen enligt Broberg m. fl., 2022) och Ref d är anpassad för att effektivt nyttja gödseltillgången i VG (potentialen enligt Olsson m.fl., 2023), se tabell 8. Ref c och Ref d har även en högre andel halm i sina substratblandningar än Ref. Mass- och energibalanser liksom produktionskostnad för biogas för Ref kommer från Olsson m. fl. (2023).
- **Alt 1:** Massflöden utgår från alternativet Ref men med skillnaden att alternativet ej har proteinutvinning från vall och baserar sig på Edström m. fl. 2024. Detta medför att det odlas vall på ca 2 200 ha per anläggning för direktrötning, se tabell 8. Vallen ensileras och den bidrar med ca 54 % av gasproduktionen, se tabell 7. Detta medför att mängden vatten som kommer via substraten blir lägre i detta fall än i Ref-alternativet. Därav ökas mängden flytgödsel så att TS-halt i huvudrötkammaren (R1) blir ca 9,5 %. Mass- och energibalanser liksom produktionskostnad för biogas för Alt 1 kommer från Edström m. fl. (2024).

- **Alt 2:** I detta alternativ reduceras mängden vall som rötas med ca 80 % mot Alt 1 (bidrar med 12 % av gasproduktionen), se tabell 7. För att producera 100 GWh biogas/år ökas istället mängden halm (bidrar med 34 % av gasproduktionen) som rötas men även mängden flytgödsel (bidrar med 30 % av gasproduktionen) så att TS-halt i röt-kammaren blir ca 9,5 %. För att producera denna mängd vallgröda för rötning behöver det odlas vall på ca 500 ha åkermark per anläggning, se tabell 8. Även mass- och energibalanser liksom produktionskostnad för biogas för Alt 2 kommer från Edström m. fl. (2024)
- **Alt 6f:** Detta är ett alternativ som tagits fram för Halland som har en förhållandevis stor tillgång till gödsel i relation till åkerarealen varför mer än 40 % av producerad biogas kommer från gödsel, se tabell 7. Vallgröda bidrar med ca 22 % av gasproduktionen och för att producera denna mängd vallgröda för rötning behöver det odlas vall på ca 900 ha åkermark per anläggning, se tabell 8.
- **Alt 8b:** Detta är ett alternativ som tagits fram för Skåne som har en förhållandevis liten tillgång till gödsel i relation till åkerarealen varför inte mer än 13 % av producerad biogas kommer från gödsel, se tabell 7. Gödselandelens i substratblandningen är liten (bidrar med ca 20 % av substratblandningens innehåll av torrsbstans) varför det kan behövas tillsättas spårmetaller för att få en väl fungerande röttningsprocess. Halm är den råvara som bidrar mest till gasproduktion på dryga 40 % och är det alternativ där halmen har sitt största bidrag till gasproduktionen. Vallgröda bidrar med ca 26 % av gasproduktionen och för att producera denna mängd vallgröda för rötning behöver det odlas vall på ca 1 100 ha åkermark per anläggning, se tabell 8. Alternativet saknar substrat som kan späda huvudrötkammaren TS-halt ner till 9,5 % varför det i detta fall antas att delar av den vätskefas som genereras vid rötrestseparationen används för att späda substratblandningen så att önskad TS-halt i huvudrötkammaren uppnås.
- **Alt 9b:** Detta är ett alternativ som också tagits fram för Skåne vars substratblandning har något mindre gödsel än Alt 8b och som bidrar med ca 10 % av producerad biogas, se tabell 7. Gödselandelens i substratblandningen är liten (bidrar med ca 18 % av substratblandningens innehåll av torrsbstans) varför det kan behövas tillsättas spårmetaller för att få en väl fungerande röttningsprocess. Den mängd vallgröda som rötas är nästan lika stor som i Alt 1 och den bidrar med dryga 50 % av gasproduktionen och för att producera denna mängd vallgröda för rötning behöver det odlas vall på ca 2 200 ha åkermark per anläggning, se tabell 8. Halm bidrar med ca 20 % av gasproduktionen. Även detta alternativ saknar substrat som kan späda huvudrötkammaren TS-halt ner till 9,5 % varför det, liksom alternativ 8b, antas att delar av den vätskefas som genereras vid rötrestseparationen används för att späda substratblandningen så att önskad TS-halt i huvudrötkammaren uppnås.

Tabell 7. Mängd av de viktigaste agrara råvarorna som åtgår för 8 alternativa anläggningar som var och en producerar ca 100 GWh/år (se även bilaga 2).

	Flytgödsel		Fastgödsel		Vall		Halm		Rester vallprotein	
	ton/år	% av CH ₄	ton/år	% av CH ₄	ton/år	% av CH ₄	ton/år	% av CH ₄	ton/år	% av CH ₄
Ref	85 000	11	11 000	5	11 000	12	4 600	7	100 300	47
Ref c	48 400	6	9 200	4	0	0	14 600	24	100 300	47
Ref d	92 000	12	17 500	8	0	0	8 600	14	100 300	47
Alt 1	121 200	16	11 000	5	51 000	54	4 600	7	0	0
Alt 2	220 000	30	11 000	5	11 000	12	20 100	34	0	0
Alt 6f	207 000	28	32 000	15	19 700	22	9 800	16	0	0
Alt 8b	60 000	8	11 700	5	24 300	26	25 200	42	0	0
Alt 9b	48 400	6	9 200	4	49 600	52	11 800	19	0	0

I tabell 8 redovisas hur stor del av den för regionerna Västra Götaland (VG), Halland och Skåne beräknade biogaspotentialen från flytgödsel, fastgödsel och halm liksom vilken areal som måste avsättas för vallodling som utnyttjas av en anläggning som producerar 100 GWh biogas/år enligt de 8 alternativen vars råvarubehov beskrivs i tabell 7.

Tabell 8. Utnyttjandegrad av identifierade råvarupotential från jordbruket i VG (baserat på potentialberäkning av Olsson m. fl. 2023) samt Skåne och Halland (baserat på potentialberäkning av Broberg m. fl. 2022) för en 100 GWh-biogasanläggning.

	Region	Flytgödsel, % av potential	Fastgödsel, % av potential	Halm, % av potential	Vall ha	Anläggningar st (max)
Ref	VG	3,2	2,1	1,7	3 000	31
Ref c	Skåne	2,6	2,6	1,7	2 500	38
Ref d	VG	3,4	3,1	3,3	2 500	29
Alt 1	VG	4,5	2,1	1,7	2 200	22
Alt 2	VG	8,3	2,1	7,7	500	12
Alt 6f	Halland	25,0	25,0	20,0	900	4
Alt 8b	Skåne	3,2	3,3	2,9	1 100	30
Alt 9b	Skåne	2,6	2,6	1,4	2 200	38

3.2 Förbehandling av substrat

Vid rötning av halm men även vallgröda och fastgödsel (med halm som strömedel) bedöms det vara nödvändigt att dessa biomassor sönderdelas innan rötning i CSTR-processer för att anläggningen ska fungera tekniskt, huvudsakligen med avseende på omrörning av röt-kammare, men även pumpning och värmeväxling. Utöver detta resulterar sönderdelning i en större yta för de anaeroba nedbrytarna att arbeta med vilket snabbar på nedbrytningshastigheten. Troligen behövs olika sönderdelningssystem som är anpassade dels för torra biomassor som halm, dels fuktigare biomassor som vall och fastgödsel. Utgående från Gallegos m. fl. (2017) och Nordberg m.fl. (1997a) bedöms att utrustning för sönderdelning ska klara av att reducera partikelstorlek ned till i genomsnitt 2 mm för att omrörning av röt-kammare ska fungera liksom att de antagna gasutbytena ska kunna uppnås.

3.3 Rötning

Rötningen antas ske i en totalomblandad våt process (CSTR) vid ca 37 °C. Rötningen sker i huvudröt-kammare med organisk belastning på ca 4 kg VS/m³/d. Det antas även att det finns en efterröt-kammare som har halva volymen av huvudröt-kammaren. Rötresten som lämnar huvudröt-kammaren pumpas in i efterröt-kammaren. Alternativens massflöden beskrivs i bilaga 2. Följande processrelaterade medelvärden gäller för de 8 alternativen:

- huvudröt-kammarens (R1) effektiva röt-kammarvolym blir 24 100 m³ fördelat på flera röt-kammare, därtill tillkommer röt-kammarens headspace
- uppehållstid för R1 blir 34 dygn (baserat på inflöde)
- volumetrisk biogasproduktion på ca 1,76 m³ biogas per m³ aktiv röt-kammarvolym och dag för R1
- TS-halt i R1 blir 9,2 % av våtvikt

- Biogasens metanhalt blir ca 57,7 %
- 8,6 % viktreduktion efter rötning i R1 och R2, dvs 8,6 % av tillförd substratblandning lämnar röt-kammaren i form av biogas, resterande 91,4 % lämnar röt-kammaren i form av rötrest.
- volumetrisk biogasproduktion på ca 0,44 m³ biogas per m³ röt-kammarvolym och dag för efterröt-kammaren (R2) vilket medför att 12,6 % av totala biogasproduktionen kommer från R2.
- TS-halt i R2 blir 8,3 % av våtvikt
- 54,7 % av tillförd torrs substans via substratblandningen bryts ner efter rötning i R1 och R2.
- 61,5 % av tillförd VS via substratblandningen bryts ner efter rötning i R1 och R2.
- Inget vatten antas tillförs för att späda substratblandningen utöver det tvättvatten genereras från t.ex. tvätt av lastbilar, golv i byggnader och processutrustning (uppskattas till ca 5 000 ton/år och anläggning).

För en biogasanläggning som årligen producerar 100 GWh biogas innebär detta att det behövs en total röt-kammarvolym för huvudröt-kammare (inklusive headspace) på ca 30 000 m³ och efterröt-kammare på halva denna volym. Biogasproduktionen blir ca 48 000 Nm³/dygn och rötrestproduktionen ca 330–740 ton/dygn efter att eventuellt recirkulerad vätskefas efter avvattning har återförts till substratblandning för spädning (se bilaga 2).

3.4 Efterbehandling av rötrest

Producerad rötrest hygieniseras vid 70 °C under 1 timme (s.k. efterhygiensiering) följt av värmeåtervinning. Därefter fassetteras rötresten och där genereras en fast och en flytande rötrest som jordbruket använder som gödselmedel (separationen kan t.ex. ske via en fiberavskiljning från rötresten med en skruvavvattare följt av en separation av rötrestens finpartikulära material med dekantercentrifug). Beräknade mängder för respektive fraktion redovisas i tabell 9. I fassetteringsberäkningarna antas separationseffektiviteten (andelen av substansen som avskiljs till den fasta fasen) vara följande:

- 70 % av torrs substansen
- 60 % av fosfor
- 50 % av det organiskt bundna kvävet

Vattenlösligt ammoniumkväve liksom kalium antas ej kunna separeras med konventionell fassetteringssteknik varför koncentrationerna på våtviktsbasis efter separation är lika för flytande rötresten liksom fast rötrest.

Att det inte generas något överskott av flytande rötrest för Alt 2 och Alt 8b beror på att mängden flytgödsel som antas rötas i dessa alternativ är något större än mängden producerad flytande rötrest som separationen genererar (se tabell 7) och vald affärsmodell att 1 ton flytgödsel som en gård lånar ut för rötning ersätts med 1 ton flytande rötrest. Produktionen av flytande rötrest är också beroende av gjorda antagandet gällande separationseffektiviteten för torrs substans.

Tabell 9. Mängd producerad flytande och fast rötrest efter avvattning samt överskott av flytande rötrest då inleverans av flytgödsel ersatts med flytande rötrest (se även bilaga 2).

Alternativ	Total flytande rötrest, ton/år	Överskott flytande rötrest, ton/år	Fast rötrest, ton/år
Ref	166 000	81 000	46 000
Ref c	125 000	76 000	48 000
Ref d	172 000	80 000	47 500
Alt 1	145 000	52 000	44 000
Alt 2	199 000	0	65 000
Alt 6f	210 000	4 000	60 000
Alt 8b	59 000	0	63 000
Alt 9 b	72 000	23 000	48 000

I tabell 10 beskrivs totala flöden av kol som kommer till biogasanläggningen via de rötade biomassorna liksom mängd kol som återfinns i rötresten. Vid rötning omvandlas en del av råvarans kol till kol i biogas (dvs CO₂ respektive CH₄). För vallgröda beräknas ca 64 % av dess kolinnehåll återfinnas i biogasen och 36 % i rötresten, medan för halm återfinns ca 54 % av kolet i rötresten. Detta förklarar varför mängden kol i rötresten i alternativen Ref liksom Alt 1 och Alt 9b, där vallgröda ger det största bidraget till biogasproduktionen, är mindre än Alt 2 och Alt 8b där halm är den fraktion som ger det största gasbidraget. Vidare beskrivs totala flöden av, kväve, fosfor och kalium för de åtta alternativen och gödselns bidrag till respektive växtnäringsämne. Även här är det tydligt att mängden gödsel som rötas i alternativ Alt 2 och Alt 6f är väsentligt större än i övriga alternativ.

Tabell 10. Mängd av CNPK, gödselns bidrag till detta och kvarvarande C i rötresten från en 100 GWh-biogasanläggning. Med G menas gödsel

Alternativ	Kol in ton/år	Kol ut ton/år	N-tot i rötrest ton/år		P-tot i rötrest ton/år		K-tot i rötrest ton/år	
			% från G	% från G	% från G	% från G		
Ref	16 427	5 902	1 100	38	176	56	1 079	30
Ref c	16 801	6 241	950	30	143	48	993	22
Ref d	17 004	6 473	1 107	46	193	64	1 077	36
Alt 1	16 739	5 923	1 293	43	197	64	1 056	40
Alt 2	19 224	8 292	1 382	65	244	83	1 097	63
Alt 6f	18 764	8 145	1 490	68	282	85	1 172	69
Alt 8b	17 797	7 084	1 001	34	140	58	868	30
Alt 9b	16 413	5 789	1 077	26	143	48	920	23

3.5 Integration av anläggning för fettsyraproduktion i en biogasanläggning

En översiktlig utredning har gjorts för att beskriva möjligheterna att addera till biologisk fettsyraproduktion som försteg för några av de biomassor som kommer till en biogasanläggning. Av de studerade alternativen har Ref valts ut, framför allt för att proteinutvinningen från vallgröda i detta alternativ genererar ett restflöde som kallas brunjuice som bedöms innehålla lättomsättbara kolhydrater som kan vara lämplig för

produktion av flyktiga fettsyror med en biologisk hydrolysisprocess (benämns här AAD vilket står för arrested anaerobic digestion). För att öka produktionen av fettsyror har det även antagits att det sker en samutvinning av fettsyror från brunjuice, ensilerad vallgröda (som ej används för proteinutvinning), kasserat ensilage och fjäderfågödsel i samma AAD-reaktor. Utgående från Giduthuri m. fl. (2023), Bhatt m. fl. (2020) och Eliasson pers. medd. har VFA-utbytestal antagits i beräkningen av VFA-produktionen som redovisas i tabell 11.

Tabell 11. Mängd biomassor i Ref som antas användas i en AAD-reaktor för produktion av fettsyror.

	Mängd Ton/år	VS-mängd Ton VS/år	VFA-utbyte g VFA/g VS	VFA-mängd Ton VFA/år
Brunjuice	54 200	2 400	0,42	770
Vallgröda	11 000	3 870	0,3	1 080
Kasserad vallgröda	1 000	350	0,2	60
Fjäderfågödsel	2 000	600	0,4	180
Avfall	15 000	2 800	0,55	1 540
Summa	83 200	9 010	0,40	3 630

I bilaga 1 med figurer och bilagor i denna finns bakgrundsbeskrivning om hur fettsyror idag produceras industriellt liksom mer information om isolering av blandade fettsyror från AAD-processer. En förkortad och förenklad beskrivning av den extraktions- och destillationsbaserade process (se Woo et al. 2019) som utifrån en fokuserad litteraturstudie och egna erfarenheter av processkemisk forskning och utveckling för industriell tillämpning, valts ut som grund för beräkningarna i detta projekt kring isolering av blandade flyktiga fettsyror från AAD-processer, följer här.

- **Extraktion 1** (EX I i artikeln Woo et al. 2019, Figure 3): Reaktionsblandningen som innehåller blandade flyktiga fettsyror från AAD-processen extraheras först med nonylacetat (kokpunkt vid atmosfärstryck 212 °C), ett högkokande lösningsmedel som är relativt lipofilt (obefintlig vattenlöslighet) och som bäst löser de längre flyktiga fettsyrorerna dvs de med fler än 3 kolatomer i kedjan. Nonylacetat är lågtoxisk (Bickers, et al. 2003), har en fruktig doft och används bl a som tillsats i kosmetika och konsumentprodukter. Flyktiga fettsyror med fyra kolatomer eller mer hamnar då kvantitativt i nonylacetatfasen medan ättiksyra och propionsyra fördelas mellan nonylacetatfasen och vattenfasen. Extraktionen görs vid omgivande temperatur eller vid runt samma temperatur som AAD-processen. De flyktiga fettsyror som löst sig i nonylacetatfasen separeras, efter att vattenfasen först separerats av, från detta lösningsmedel genom fraktionerad destillation i två steg och lösningsmedlet återförs kontinuerligt till nästa varv av processen. **Produktfas 1** (Product I i Woo et al. 2019, Figure 3), erhållen genom destillation, består av en renad blandning av ättiksyra, propionsyra, smörsyra, valeriansyra och kapronsyra.
- **Extraktion 2** (EX II i Woo et al. 2019, Figure 3 i artikeln): Andelen av de kortare flyktiga fettsyror (ättiksyra och propionsyra) som löst sig i vattenfasen under Extraktion 1 ovan extraheras med det mer polära och något mer vattenlösliga lösningsmedlet n-hexylacetat (kokpunkt n-hexylacetat vid atmosfärstryck på 171,5 °C), ett lösningsmedel med en doft av päron som används i bl a kosmetikaindustrin och som finns naturligt i en mängd olika frukter och bär, i öl och i vin m fl livsmedel, se bl a i Api, et al. (2018). Merparten av ättiksyran och propionsyran hamnar då i hexylacetatfasen och separeras sedan från lösningsmedlet genom fraktionerad destillation till **Produktfas 2** (Product II

i artikeln Woo et al. 2019, Figure 3), vilken består av en renad blandning av ättiksyra och propionsyra med en aning hexylacetat kvar i.

- Vattenfasen från **Extraktion 2** är tänkt att återföras som vatten till den samlade biogas- och VFA-framställningsprocessen som illustreras i Bild 4.
- n-Hexylacetat recirkuleras kontinuerligt från destillationsstegen till Extraktion 2.
- Den samlade förlusten av lösningsmedel från processen ligger på ca 3% av vikten produktblandningar **Produktfas 1** och **Produktfas 2**, och uppstår genom förlusten av n-hexylacetat till vattenfasen under **Extraktion 2**. Vidare utvecklingsarbete krävs för att exakt reda ut dels möjligheterna att helt undvika lösningsmedelsförluster och/eller ifall den lilla andel hexylacetat som förloras till vattenfasen från **Extraktion 2** överlever biogasprocessen och därmed återförs till vad som senare blir **Extraktion 1** i ett senare varv.

Produktfaserna 1 och 2 fraktas sedan till kemisk industri för vidare separation till enskilda rena flyktiga fettsyror (se Bilaga 1 och illustration i Figur 3 i bilagan).

Utgående från anläggningskonfiguration för extraktion av blandade flyktiga fettsyror från en AAD-process beskriven av Woo m. fl., 2019 har en massbalansberäkning genomförts kopplad till alternativet Ref utgående från data i tabell 11 som redovisas i bild 4. Utgående från Eliasson pers. medd. har det bedömts vara möjligt att effektivt driva en AAD-process vid temperaturen 37 °C där uppehållstiden är 10 dagar där hydrolysgasproduktionen antas vara 175 l/g VS, där vätgaskoncentrationen antas vara 30 % och resten utgörs av koldioxid samt där VFA-halten i reaktorn är 15 g/l. För att hålla denna VFA-halt i AAD-reaktorn beräknas inflödet behöva spädas med ca 445 ton vätskefas/dag som tas från utflödet från VFA-utvinningssteget. Råvarorna som antas användas för VFA-produktionen och då i synnerhet vallgröda liksom kasserad vallgröda men i viss mån även fjäderfågödsel och avfall innehåller partiklar/fibrer. En hel del av dessa partiklar/fibrer kommer fortfarande finns kvar i utflödet från AAD-reaktorn varför dessa antas avskiljas med en skruvavvattnare innan den vätskefas som skruvavvattnaren genererar tillförs VFA-utvinningssteget. Vätskeutflödet från VFA-utvinningssteget antas ha en VFA-koncentration på 0,3 g/l vilket medför att ca 92 % av producerad VFA i AAD-reaktorn kan utvinnas. Fast fas efter skruvavvattnaren liksom överskottsvätskan efter VFA-utvinningen (dvs den andel som inte används för spädning av inflödet till AAD-reaktorn) går vidare till rötning för biogasproduktion där dessa fraktioner samrötas med presskaka från proteinutvinning, flytgödsel, halm, och kvarvarande fastgödsel. Från dessa biomassor som rötas beräknas det kunna produceras 83 GWh biogas/år (stor osäkerhet i denna beräkning) vilket alltså är 17 % lägre biogasproduktion för Ref om ett AAD-steg ej ingår i bioraffinaderiet.

Utgående från redovisade produktionsvolymerna av enskilda rena flyktiga fettsyror som produceras av Perstorp AB har det beräknats behövas minst 16 anläggningar (se bilaga 1) av typen "Ref" som kompletteras med kontinuerlig AAD-process följt av kontinuerlig utvinning av de producerade fettsyrorna enligt bild 4.

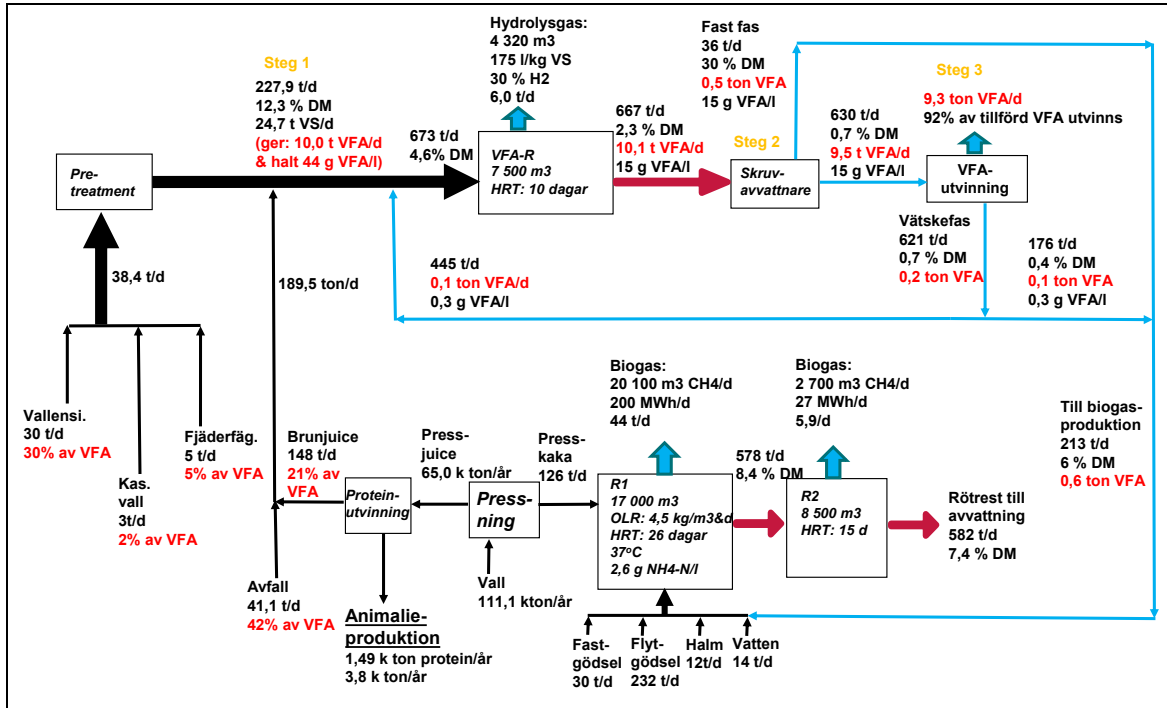


Bild 4. Massbalans för modifierad Ref-alternativ med framställning av VFA genom en integrerad AAD-process följt av VFA-utvinning (bild från bilaga 1)

3.6 Uppgradering och förvätskning av biometan liksom koldioxid

Den gas som genereras av en rötningsprocess kallas rågas och är en blandning av ca 55–60 % metan, koldioxid samt små mängder av andra ämnen såsom kväve och svavelväte. Rågasen är också mättad med vattenånga. Biogasproduktionen från en 100 GWh anläggning beräknas bli närmare 48 000 Nm³/dag och på årsbasis medför detta att det produceras ca 7 220 ton metan och närmare 13 000 ton CO₂.

För att underlätta distribution och användning av gasen antas att den uppgraderas vilket innebär att metanet avskiljs från övriga komponenter. För gasuppgradering finns det en rad etablerade tekniker; mest vanliga i Sverige är membranseparering, kemisk absorption medaminskrubber, fysikalisk absorption med vattenskrubber, samt tryckväxlingsadsorption (PSA, pressure swing adsorption). Alla dessa tekniker är kapabla att producera en metanrik gas som uppfyller standarden för fordonsgas, som oftast innehåller 97 % eller mer metan. Alla tekniker använder signifikanta mängder energi, omkring 0,25 kWh/Nm³ (Bauer m.fl. 2013), oftast i form av el. Aminskrubbern använder istället i huvudsak värme. Val av teknik beror i första hand på de lokala förutsättningarna såsom tillgång till värme. Efter uppgraderingen kan gasen användas som fordonbränsle eller matas in i naturgasledning.

Det går också att förvätska gasen efter uppgraderingen till flytande biogas (bio-LNG), vilket ökar energitätheten jämfört med komprimerad gas och öppnar för effektivare transporter över större distanser samt enklare lagring av stora volymer. Bio-LNG tillgängliggör även marknader såsom sjöfart eller industrier med större gasbehov utan tillgång till naturgasnätet. För förvätskningen av fordonsgas behöver gasen ”poleras”, vilket i huvudsak innebär att resterande koldioxid tas bort ner till mycket låg halt (oftast

50 ppm) för att undvika torriskbildning. Efter poleringen kan gasen förvätskas genom nerkyllning till ca -130 till -160 °C varpå den lagras i vakuumisolerade tankar. Förvätskningen kräver stora mängder elenergi, omkring 0,8 kWh/kg.

Den (biogena) koldioxid som avskiljs i gasuppgraderingen har historiskt sett släppts ut till atmosfär, men antas här fångas in och nyttiggöras som produkt eftersom stora nya marknader för koldioxid håller på att växa fram. Från flera uppgraderingstekniker fås en restgas med hög koldioxidhalt, så att det räcker att rena bort föroreningar, komprimera och torka gasen och sedan kyla ner den till -30 °C för att kondensera den till LCO₂. Processtegen för koldioxidinfångning och rening visas i bild 5 och inkluderar normalt ett filter med aktivt kol, en gastork samt en stripperkolonn där lättflyktiga gaser tas bort (Andersson m. fl., 2021). Med den konfigurationen går det normalt att uppnå livsmedelskvalitet vilket idag är standarden på marknaden för LCO₂. Koldioxidförvätskningen kräver cirka 220 kWh per ton CO₂.

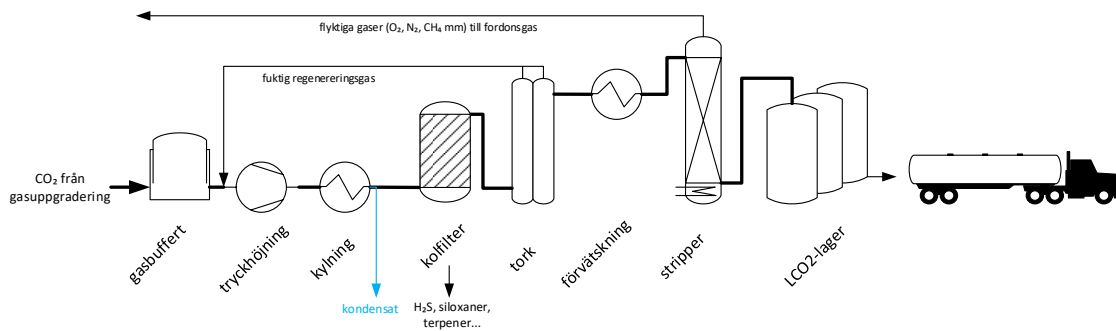


Bild 5: Vanlig process för infångning och rening av koldioxid från biogasanläggningar.

3.7 Distribution via gasledning

Transport i gasledning är ett effektivt sätt att distribuera gaser, framför allt när det handlar om stora volymer och/eller mindre avstånd. Den höga investeringskostnaden gör det dock mindre effektivt vid större avstånd om inte volymerna är stora, vilket inte minst gäller för norra västkusten där landskapet med mycket berg kan leda till höga kostnader. För ledningstransport av biometan kan det befintliga naturgasnätet användas då även naturgas i huvudsak består av metan.

Ett tänkbart scenario för ett gasledningsnät genom Västra Götalands jordbruksintensiva områden till det västsvenska naturgasnätet visas i bild 6. Kapacitetsbehoven sjunker ju längre ut på biogasnätet man kommer, vilket medför att de delar med lägre gasflöde med fördel driftas med lägre tryck (ca 4 bar) medan de delar där gasflödet är större driftas vid högre tryck (ca 35 bar). Detta medför olika materialval för dessa ledningar (PE respektive stål). Mellan grenledningarna med lågt tryck och stamledningen med högre tryck placeras kompressorstationer för att lyfta trycket.

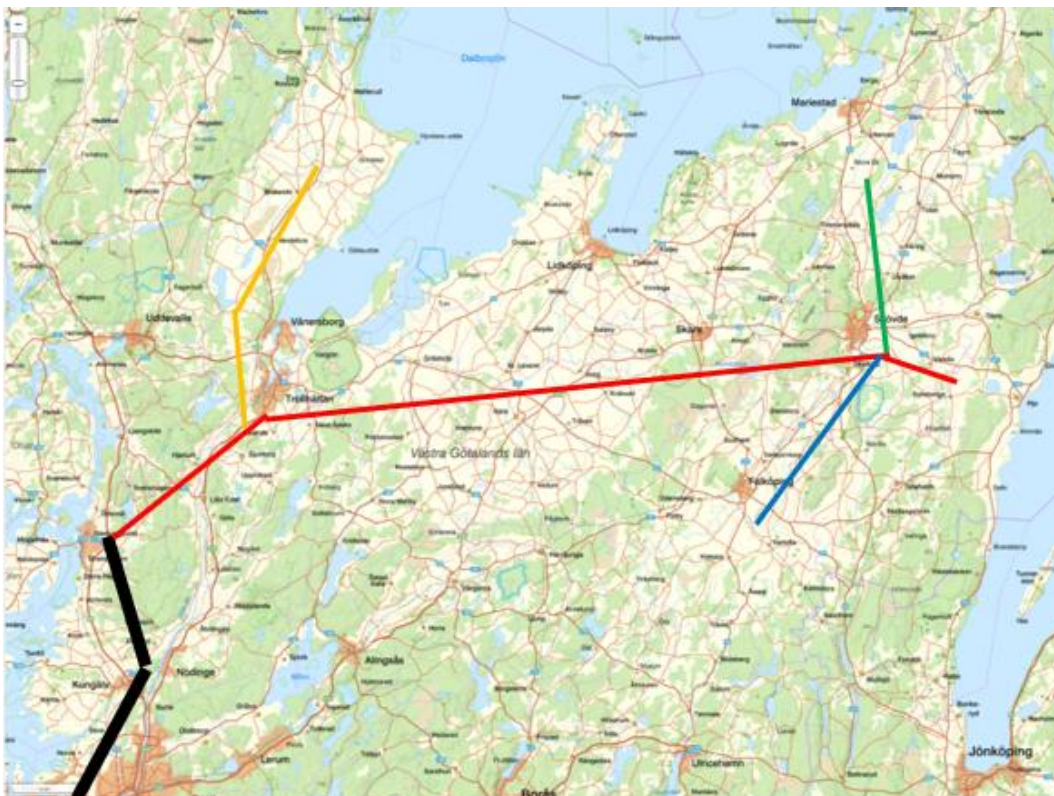


Bild 6. Karta från Lantmäteriet som visar jordbruket i Västra Götaland. I denna karta har det infogats en hypotetisk dragning av ny gasledning i Västra Götaland i alternativ där uppgraderad biogas transporteras i rör, se röda, gröna, blåa och bruna streck. Biogasledning antas anslutas i befintliga västsvenska naturgasnätet som är markerad med en indikativ svart linje i karten.

Ett motsvarande tänkbart scenario för ett gasledningsnät genom Skånes jordbruksintensiva områden till det västsvenska naturgasnätet visas i bild 7.

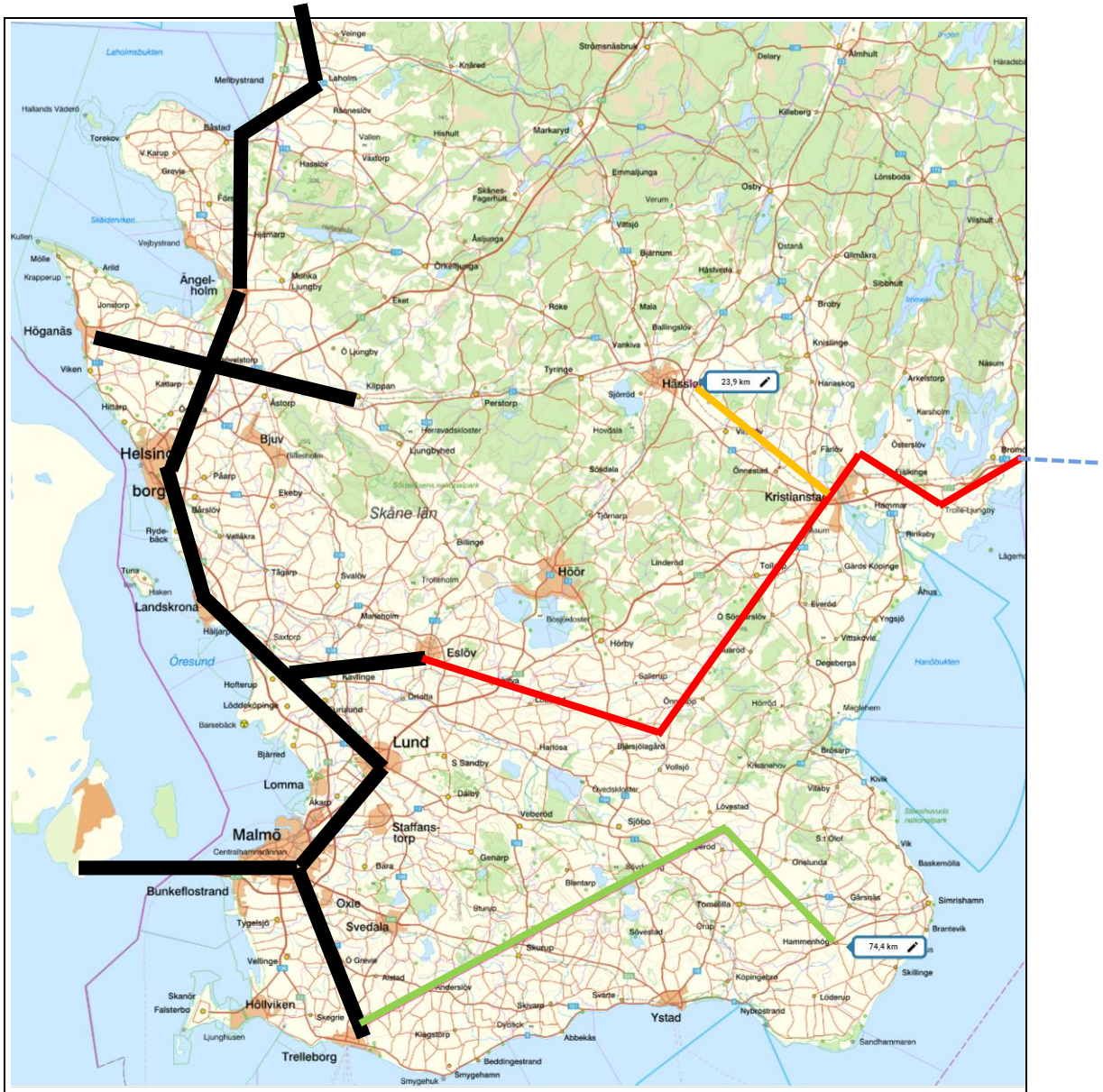


Bild 7. Karta från Lantmäteriet som visar jordbruket i Skåne. I denna karta har det infogats en hypotetisk dragning av ny gasledning i Skåne i alternativ där uppgraderad biogas transporteras i rör, se röda, gröna och bruna streck. Biogasledning antas anslutas i befintliga västsvenska naturgasnätet som är markerad med en indikativ svart linje i kartan.

För Halland är bedömningen att det inte behövs byggas något gasledningsnät för biogas eftersom det jordbruksintensiva området ligger invid det västsvenska naturgasnätet visas i bild 8.

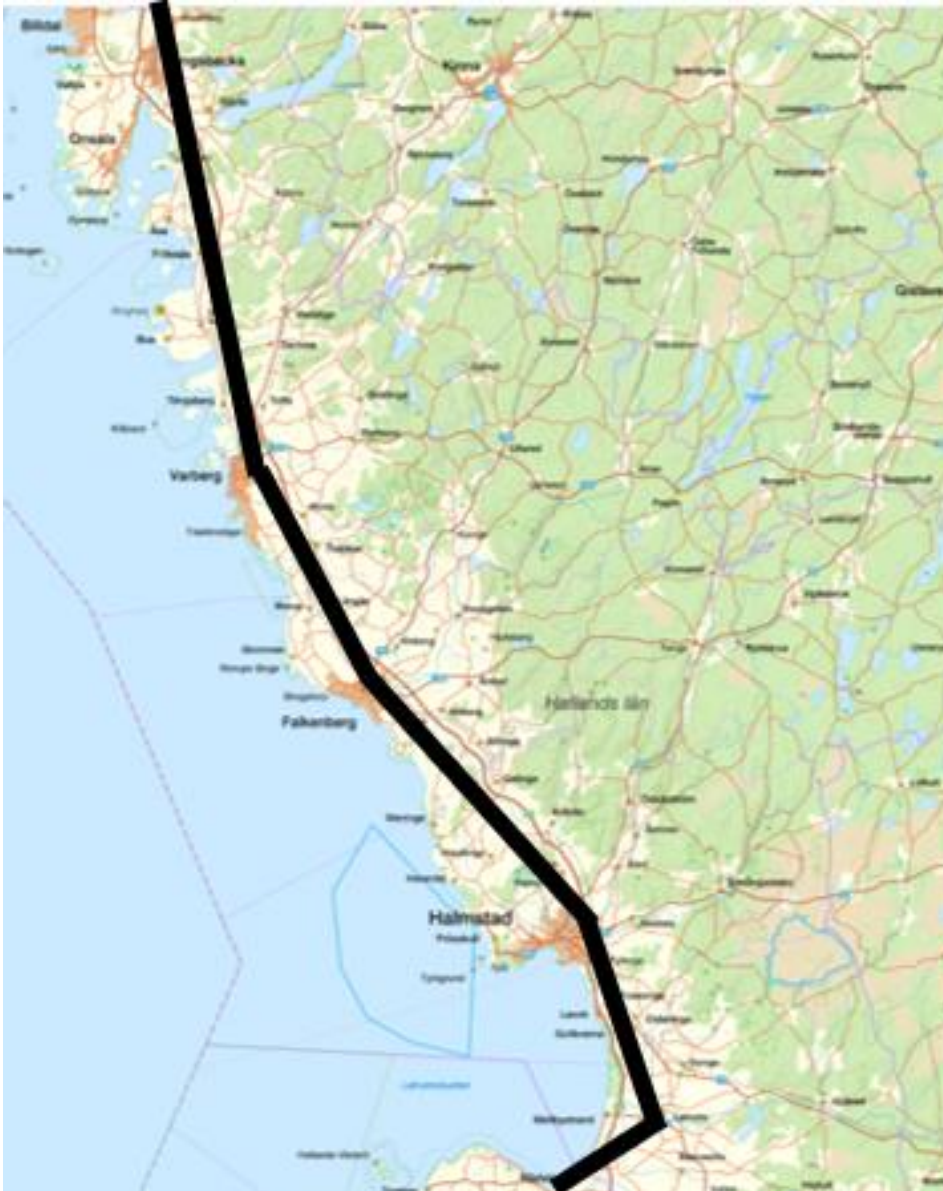


Bild 8. Karta från Lantmäteriet som visar jordbruket i Halland. Befintliga västsvenska naturgasnätets indikativa dragning genom Halland är markerad med svart linje. Åkerarealen i Halland ligger i nära anslutning till västsvenska naturgasnätet varför det bedöms att inget nytt biogasnät behöver byggas.

3.8 Distribution av förvätskad biometan (bio-LNG)

Om gasen förvätskas efter uppgraderingen är transport i rörledning inte aktuell eftersom lastbilstransporten blir betydligt effektivare än för komprimerad gas. Vid den aktuella anläggningsstorleken är det troligtvis intressant att ha stationära, vakuumisolerade tankar vid både biogasanläggningarna och förbrukaren, och att transporten sker med tanklastbil, vilket är det traditionella sättet för kondenserade gaser och innebär att flytande gas pumpas först över till lastbilen och vid destinationen från lastbilen till förbrukarens lager.

Ett alternativ som under vissa förutsättningar kan vara mer kostnadseffektivt kan vara att använda mobila gaslager (dvs ISO-containrar) istället för stationära, och transportera dessa genom att lyfta dem på lastbil eller släp, och sedan lyfta av dem hos förbrukaren. Fördelen är att ställtiden med pumpning blir kortare vilket minskar transportkostnaden. Mer information om transport av bio-LNG i biogas-skala finns i Hjort (2018).

3.9 Transport av LCO₂

Om koldioxiden från biogasen fångas in så föreligger den, liksom bio-LNG, som kondenserad gas. Distributionsformen för LCO₂ är därför likt den för bio-LNG, dvs med tanklastbil eller i ISO-containrar. Jämfört med bio-LNG-fallet har containrar här en fördel eftersom CO₂-transporten oftare sker över längre distanser (t.ex. till hamn för slutlager i Norge) och stora mängder containrar effektivt kan transporteras med tåg. Ett tänkbart scenario är också att biogasanläggningarna ansluter sig till en större producent av LCO₂ och dess tillhörande distributionsstruktur, t.ex. ett värmeverk eller cementindustrin, vilket gör att transporten måste ordnas till någon hubb där det går att tillföra sidoflöden till det stora LCO₂-systemet. Mer information om transport av LCO₂ finns i Andersson m.fl. (2021).

4 Gröna näringarnas perspektiv

För enskilda lantbrukare finns flera motiv för att vara en del i systemet och använda restströmmar för biogasproduktion. De kan utveckla gårdens miljöprofil och uppnå en hållbarare och mer cirkulär produktion samt implementera mer varierande långsiktiga växtodlingssystem som binder in mer kol i åkermark, kräver mindre insatser vid odling och som kan öka skördarna, se tabell 12.

Idag finns affärsmodeller där flytgödsel levereras till biogasanläggningarna i utbyte mot retur av motsvarande mängd rötrest. Motsvarande affärsmodeller saknas för fastgödsel, halm, vallgröda och den fasta rötresten som biogasanläggningen producerar. I affärsmodellen bör den ekonomiska ersättningen till lantbrukare förutom de faktiska hanteringskostnaderna även värdera innehållet av växtnäring och stabilt kol som förs bort med den levererade grödan eller biomassan. Samtidigt ska det beaktas att växtnäring och stabilt kol även återförs med rötresten. Genomförs detta på ett optimalt sätt uppnås ett cirkulärt system som minimerar behovet av externa insatsmedel till växtodlingen. Det ska noteras att det kan finnas risk för till exempel markpackning vid spridning av rötrest. Det behövs många biogasanläggningar i den skala som denna studie utgått ifrån för att kunna matcha efterfrågan på biogas. Detta kommer involvera många gårdar som levererar substrat. Detta kan kräva samordning för att underlätta kontakterna mellan biogasanläggningarna och den enskilda lantbrukaren, samt för att minska risker och säkra tillgången till substrat och återförsel av rötrest. Lantbrukare kan gå samman i leverantörsföreningar eller att transportererna kan skötas av tex maskinstationer eller maskinringar som även kan fungera som en mellanhand mellan biogasanläggning och lantbrukare. Detta innebär goda möjligheter för affärer och entreprenörsverksamhet både vad det gäller att förse biogasanläggningarna med biomassor från jordbruket för rötning men även för att återföra den genererade rötresten.

Tabell 12. Exempel på för- och nackdelar av att ingå i biogassystemet

+	-
Cirkularitet & N-fixering	Fler och /eller ändrade arbetsmoment, maskiner mm
Ökad kolhalt i åkermarken	Ökade ammoniakemissioner
Möjlighet att separera fosfor och kol	Ökade externa transporter
Möjlighet till ytterligare intäkt	Skörd av halm kan påverka bördighet och riskera försenad sådd av efterkommande gröda

I Olsson m.fl (2023) intervjuades ett antal lantbrukare med olika driftsinriktningar i upptagningsområdet kring Vårgårda Herrljunga Biogas (VH Biogas). Frågor ställes kring deras intresse att leverera restprodukter från sitt lantbruk till ett bioraffinaderi eller en biogasanläggning i närområdet, samt viljan att ta emot rötrest och andra fraktioner från en biogasanläggning. Genomgående var intresset positivt men varierade lite beroende på driftsinriktning. De rena växtodlingsgårdarna uttryckte intresse av att både börja odla vall för leverans till bioraffinaderi men även att leverera halm. Dock ville de säkerställa att

det inte påverkar markens långsiktiga bördighet. Ingen av gårdarna hade vid tidpunkten för intervjun maskiner för att skörda vall vilket i så fall måste lösas via entreprenör eller genom bioraffinaderiets försorg. De gårdar med djur som intervjuades var redan leverantörer av gödsel till VH Biogas och såg samarbetet som positivt. Dock upplevde en av gårdarna att de fick tillbaka mindre mängd fosfor än vad de levererade och att det saknades bra system för kostnadsutjämning. VH Biogas hade tidigare jobbat med ett kompensationsystem med det avslutades på grund av för stora felmarginaler i laboratorieresultaten. Ingen av de intervjuade gårdarna hade låga mullhalter och det finns skäl att tro att gårdarnas intresse för att börja odla vall eller tveksamhet till att leverera ökad mängd halm hade varit lägre om mullhalterna varit låga från start. Flera av gårdarna såg positiva effekter gentemot sina kunder av att kunna vara en del av ett cirkulärt system.

4.1 Växtnäring och vallprotein

Utgående från gjorda massbalanser för de 8 alternativa substratblandningarna för produktion av 100 GWh/år biogas, redovisas ökad tillgång av ammoniumkväve i rötrest och potential att förmedla fosfor i tabell 13.

Med antagandet att producerad rötrest separeras för att avskilja både fosfor och kol men även organiskt budet kväve till en fast fas möjliggör en potentiell fosforförmedling mellan olika gårdstyper (benämns P-förmedling i tabell 13) på motsvarande ca 0,8–3,6 % av den fosfor som årligen köps in via mineralgödsel i VG respektive Skåne och hela 36 % för Halland, se tabell 5. Vid rötningen av en substratblandning omvandlas oftast delar av det organiskt bundna kvävet till ammoniumkväve som återfinns i rötresten. Denna ökade mängd ammoniumkväve vid rötning av biomassorna i de 8 alternativen beräknas bli 217 till 373 ton NH₄-N/år (se tabell 13). Denna ökade ammoniummängd motsvarar 0,6–0,9 % av det kväve som köps in via mineralgödsel i VG respektive Skåne och 2,6 % för Halland.

I tabell 13 redovisas för de 8 olika alternativen den beräknad kvävefixering som uppgår till mellan 100 och 619 ton kväve per år (kvävet är organiskt bundet), där ca 2/3-delar av kvävet återfinns i den skördade vallbiomassan och resterande 1/3-del återfinns i kvarvarande biomassa på fält inklusive rötter. Beräkningen av vallens kvävefixering utgår från Sundberg m.fl. (1997) samt antagandet att:

- 45 % av totala skördade vallarealen är 1-årig
- 45 % av totala skördade vallarealen är 2-årig
- 10 % av totala skördade vallarealen är 3-årig

Den använda modellen för vallens kvävefixering innebär att 60 % av kvävet i den skördade vallen (inkluderar skördad biomassa från 1 till 3 årig vall) kommer från kvävefixeringen och 40 % från kvävegödslingen av vallen.

Tabell 13. Potential att förmedla fosfor från gårdar med animalieproduktion till växtodlingsgårdar (P-förmedling) via rötresten, ökad tillgång av ammoniumkväve på grund av rötningen.

Alternativ	Region	N fixering			P-förmedling	
		Ton N/år	Ton P/år	% av P-min	Ton N/år	% av N-min
Ref	VG	619	62,1	2,1	311	0,9
Ref c	Skåne	519	48,9	1,3	318	0,6
Ref d	VG	519	86,9	3,0	282	0,8
Alt 1	VG	463	76,0	2,6	339	1,0
Alt 2	VG	100	105,4	3,6	217	0,6
Alt 6f	Halland	179	143,4	35,9	233	2,6
Alt 8b	Skåne	221	31,4	0,8	324	0,6
Alt 9b	Skåne	450	34,4	0,9	373	0,7

I Ref och i Ref d ger utvinningen av vallprotein för proteinfoder dessutom ett tillskott på 1 485 ton protein/år vilket motsvarar ca 5,6 % av den importerade användningen av proteinfoder i VG enligt Olsson m. fl. (2023). Där genomfördes en beräkning av de lokala förutsättningarna runt en enskild 100 GWh-biogasanläggning med tillhörande proteinutvinningsanläggning. Beräkningarna visade att inom en radie av 30 km från anläggningen finns möjlighet till 100 % täckning av behovet av sojaprotein, 33 % av kvävebehovet, 50 % av fosforbehovet och 100 % av kaliumbehovet. Det visar på potential och möjligheter för konceptet.

Vid rötning av halm och vallgröda (inkl. presskaka genererad vid proteinutvinning från vallgröda i Ref – Ref d) kommer delar av dessa biomassors innehåll av kväve omvandlas till ammoniumkväve vid rötning, detta kallas kvävet mineraliseringsgrad vid rötning. För rötning av substratblandningar med hög andel vallgröda har Nordberg m.fl. (1997a) rapporterat kvävemineraliseringsgrader på ca 40 %, vilket medför att bidraget till nytt ammoniumkväve i rötresten från vallgrödan blir 44–206 ton/år, se tabell 14. Bedömningen i detta projekt är att mineraliseringen vid rötning av halm blir något lägre än vid rötning av halm. Med en kvävemineraliseringsgrad på 30 % medför det att bidraget till nytt ammoniumkväve i rötresten från halm blir 12–69 ton/år, se tabell 14. Utgående från bedömd kvävemineralisering vid rötning av vall och halm medför detta att i alternativ där vallen eller vallrester i hög grad bidrar till biogasproduktionen, kommer ca 60–65 % av den ökade ammoniumhalten i rötresten från vall och halm. Men för de alternativ där halm (och gödsel) i hög grad bidrar till biogasproduktionen kommer ca 45–50 % av den ökade ammoniumhalten i rötresten från vall och halm. Resterande bidrag till den ökade ammoniumhalten i rötresten (jämfört med mängden ammoniumkväve i de råvaror som ingår i substratblandningen) kommer från rötning av fas- och flytgödsel samt avfall och detta bidrag till det nya ammoniumkvävet i rötresten blir 117–157 ton/år, se tabell 14.

Tabell 14. Beräknade producerad mängd ammonium vid rötning av vall liksom halm för de 8 olika substratblandningarna.

Alternativ	Region	NH ₄ -N från vall	NH ₄ -N från halm	NH ₄ -N från gödsel & avfall
		Ton NH ₄ -N/år	Ton NH ₄ -N/år	Ton NH ₄ -N/år
Ref	VG	180	12	118
Ref c	Skåne	136	40	143
Ref d	VG	136	23	123
Alt 1	VG	206	12	120
Alt 2	VG	44	55	117
Alt 6f	Halland	80	27	126
Alt 8b	Skåne	98	69	157
Alt 9b	Skåne	200	32	140

4.2 Kolflöden och växtföljd

Mängd kol som kommer in till anläggningen för de 8 olika alternativen via halm har beräknats till 1 620 till 8 970 ton/år och anläggning, se tabell 15. De stabila kolföreningarna som finns i halm är viktiga för att bibehålla åkermarkens kolförråd, varför en växtodlingsgård som levererar halm för rötning behöver kompensera för den kolförlust som uppstår. Detta föreslås ske genom att återföra den fasta rötresten, med högt innehåll av stabilt kol, som biogasanläggningen genererar. Med antaget gasutbyte för halm vid rötning resulterar detta i att närmare 50 % av halmens kolinnehåll återfinns i den producerade rötresten och detta kol torde vara tämligen stabilt. Merparten av kvarvarande kol från halmen återfinns i fiberform i rötresten och kommer att avskiljas till en fast rötrest vid rötrestavvattning. Ett sätt att kompensera för den kolförlust som uppkommer då halm levereras för rötning är ett återtag av fast rötrest. Ändrar dessutom växtodlingsgården växtföljd genom att också börja odla vallgröda för rötning kan detta ytterligare långsiktigt öka markens kolförråd. Baserat på Henryson m.fl. (2022) har det gjorts en ansats att kvantifiera en ökad koluppsygnad i mark på grund av att vall introduceras i växtföljden på gårdar, som idag ej odlar vall, till 0,17 ton C/ha&år. Med antagandet att vall utgör 1/3-del av växtföljden leder detta till en ökad koluppsygnad i mark som beräknats vara 250 till 1540 ton C/anläggning och år, se tabell 15. Denna koluppsygnad beror antagligen dels på vallens stora rotsystem med stabilt kol (Rasse m.fl. 2005), dels på skörderester som blir kvar på fält och att gödsel som generas av nötkreatur, som har vallgröda-baserad foderstat, återförs till åkern. I ett system där vallgröda rötas, och där kvarvarande kol från vallen efter rötning återfinns i rötresten, återförs till den gård som odlade vallen, torde detta likna förhållandet för gårdar med nötkreatur (där producerad gödsel sprids på gårdens åkermark) som generellt har högre innehåll av markkol i sin åkerareal än växtodlingsgårdar Henryson m.fl. (2022). För att belysa detta har även mängden kol som kommer in till anläggningen för de 8 olika alternativen via vallgrödan beräknats till 1 770 till 10 930 ton/år och anläggning, se tabell 15. Med antaget gasutbyte för vallgröda vid rötning resulterar detta i att närmare 35 % av vallens kolinnehåll återfinns i den producerade rötresten och även detta kol torde vara tämligen stabilt och kan avskiljas till en fast rötrest vid rötrestavvattning.

Fastgödsel som ingår i substratblandningarna kan innehålla en hel del fibrer, dels via strömedlet som används i stallet, dels i producerad gödsel och foderspill. Mängd kol som kommer in till anläggningen för de 8 olika alternativen via fastgödsel har beräknats till 1 197 till 3 661 ton/år och anläggning, se tabell 15. Med antaget gasutbyte för fastgödseln vid rötning resulterar detta i att närmare 60 % av fastgödselns kol innehåll återfinns i den producerade rötresten och även detta kol torde vara tämligen stabilt och kan i hög grad avskiljas till en fast rötrest vid rötrestavvattnings.

I denna kolflödesbeskrivning har vi valt att:

- ej belysa kolflödet från avfall. Orsaken till detta är antagandet att merparten av kolet som finns i avfallet återfinns i biogasen efter rötning, dvs att avfallets innehåll av organisk substans vid rötning i hög grad bryts ned och att relativt lite kol från avfallet återfinns i rötresten och efter avvattnings av rötresten kommer merparten av detta kol återfinnas i den genererade flytande rötresten.
- ej belysa kolflödet från flytgödseln. Orsaken till detta är att mycket av kvarvarande kolet från flytgödseln efter rötning kommer vara finpartikulärt och svårt att effektivt separera vid avvattnings. Därför bedöms merparten av kvarvarande kol med ursprung i flytgödsel efter rötning också återfinnas i den genererade flytande rötresten.

Tabell 15. Viktiga kolflöden i form av kol från biomassorna vallgröda och halm som processas i studerade alternativen, mängd kol (C) i den fasta rötrest som genereras vid rötrestavvattnings samt ökad koluppbbyggnad i mark på grund av att vall introduceras i växtföljden på gårdar som ej odlar vall idag.

Alternativ	Region	C via halm	C via vallgröda	C via fastgödsel	C uppbbyggnad i mark	C i fast fas
		Ton C/år	Ton C/år	Ton C/år	Ton C/år	Ton C/år
Ref	VG	1 620	10 930	1 387	1 540	4 770
Ref c	Skåne	5 200	9 160	1 197	1 390	5 301
Ref d	VG	3 050	9 160	2 092	1 290	5 066
Alt 1	VG	1 620	8 180	1 387	1 150	4 815
Alt 2	VG	7 150	1 770	1 387	250	6 756
Alt 6f	Halland	3 490	3 160	3 661	440	6 528
Alt 8b	Skåne	8 970	3 900	1 463	550	6 630
Alt 9b	Skåne	4 210	7 950	1 197	1 120	5 235

4.3 Använd affärsmodell för rötrest i den ekonomiska kalkylen

I den ekonomiska kalkylen för denna studie har vi valt att ha följande affärsmodeller för producerad rötrest:

- leverans av flytgödsel till biogasanläggningarna ersätts med motsvarande mängd flytande rötrest genererad vid avvattnings, dvs den affärsmodell som används idag vid befintliga samröttningsanläggningar. Affärsmodellen ger ingen intäkt till biogasanläggningen, men det har beräknats finnas ett mervärde på i medel 22 till 146 kr/ton som tillfaller den gård som medverkar i detta utbyte, se tabell 16. Att Alt 8b och Alt 9b har en väsentligt högre värdering än övriga alternativ förklaras av att den flytande rötresten i dessa två alternativ får en halt av ammoniumkväve som är ca 1,5

kg/ton högre och kalium som är ca 2,5 kg/ton högre än alternativen Ref till Alt 6f. Denna skillnad i innehåll av kalium och ammonium orsakas i sin tur av att mängden flytgödsel som rötas i Alt 8b och Alt 9b är signifikant lägre än Alt 1 till Alt 6b samt att vallgrödan i alternativen Ref till Ref d har lägre ts-halt än övriga alternativ (se tabell 7). Detta i sin tur medför att kalium och kväve som finns i halm och vall kommer få en mindre rötrestmängd att fördelas ut på än övriga alternativ (se alternativens rötrestproduktion i tabell 9).

- B. för 6 av 8 alternativ finns en överskottsproduktion av flytande rötrest. För dessa fall antas det att biogasanläggningen svarar för transport, lagring men att den gård där rötresten sprids betalar en ersättning som baserar sig på dess växtnäringsinnehåll. Affärsmodellen ger en intäkt till biogasanläggningen på 161 till 264 kr/ton, se tabell 16. Orsaken att flytande överskottsproduktion i alt 9b värderas väsentligt högre än övriga alternativ (gäller ej Alt 8b, men detta alternativ genererar inget överskott) förklaras i punkten A ovan.
- C. producerad fast rötrest genererad vid avvattning svarar för transport, lagring och spridning, men den gård där rötresten sprids betalar en ersättning till biogasanläggningen som baserar sig på dess växtnäringsinnehåll. Affärsmodellen ger en intäkt till biogasanläggningen på 204 till 301 kr/ton, se tabell 16. Det ska noteras att denna värdering är ett medelvärde för fast fas som dels genereras från skruvavvattaren, dels från centrifugen och bygger på dess växtnäringsinnehåll. Ref utgår från Olsson m. fl. (2023) och där antogs att fast fas från skruvavvattaren användes för framställning av bioolja med hjälp av hydrotermisk förvätskning och i detta fall värderades fibrerna efter sitt innehåll av torrs substans, vilket resulterade i ett värde på 172 kr/ton fast fas. Vidare används samma kalkylmetod för Ref c och Ref d som Ref.

Tabell 16. Beräknat växtnäringsvärde på fast respektive flytande rötrest i ekonomiska kalkylen för fast och flytande rötrest som genereras vid avvattning av rötresten för affärsmodellerna A-C.

Värde rötrest	C) Fast rötrest	B) Flytande rötrest, överskottsproduktion	A) Mervärde flytande rötrest	Enhet
Ref	222	166	50 z)	kr/ton
Ref c	225	183	65 z)	kr/ton
Ref d	228	161	42 z)	kr/ton
Alt 1	261	197	44 z)	kr/ton
Alt 2	204	.x)	22 z)	kr/ton
Alt 6f	233	156	39 z)	kr/ton
Alt 8b	268	.x)	132 z)	kr/ton
Alt 9b	301	264	146 z)	kr/ton

x) ingen överskottsproduktion av flytande rötrest. Mängden flytgödsel som rötas är något större än produktionen av flytande rötrest som genereras vid separationen av den rötrest som lämnar rötningsprocessen.

z) detta mervärde på flytande rötrest genererar ingen intäkt till biogasanläggningen men kan ses som ett snittvärde som tillfaller de lantbrukare som levererar flytgödsel till biogasanläggningen för rötning.

Beräknat värde på fast och flytande rötrest i tabell 16 värderas med växtnäringspriserna i tabell 17.

Tabell 17. Använt växtnäringsvärde vid beräkning av fast och flytande rötrest.

	Ammoniumkväve	Fosfor	Kalium	
Pris	20	30	20	kr/kg

Den fasta rötresten beräknas innehålla ca 100 kg C/ton våtvikt. Detta kol bidrar till ökad mullhalt då den sprids på åkermark och kan potentiellt även vara en kolsänka, men detta har inte värderats i denna affärsmodell.

4.4 Värdering av vallens minskade miljöpåverkan

En mycket förenklad beräkning har genomförts för att beräkna storleksordningen på "samhällets" värde att växtodlingsgårdar börjar odla vall för avsättning till biogasanläggningar. Resultatet av denna beräkning blev dryga 2 100 kr/ha vall och år vilket motsvarar ca 27 öre/kg TS, se tabell 18. Antagna parametrar till denna beräkning som allokeras till vallen är:

- Minskat behov av att köpa in mineralgödselkväve på grund av vallgrödans kvävefixering
- Ökad inlagring av markkol i åkermark i och med att vallen introduceras i växtföljden på växtodlingsgårdar jämfört med att växtodlingsgården inte ändrar på sin växtföljd
- Minskat dieselbehov för arbetsmaskiner som effekt av att mängden markkol ökar
- Inhemskt producerad vallprotein ersätter importerad soja-protein
- Behov av växtskydd minskar som effekt av att vall ingår i växtföljd

Beräkningarna utgår från tabellen 14 samt följande antagna ingångsdata till beräkningarna:

- 5 % av rötrestens NH₄-N förloras vid rötrestlagringen
- 1 kg NH₄-N i rötrest ersätter 1 kg mineralgödselkväve
- Utsläppen av klimatgaser vid framställning av mineralgödselkväve är 3,6 kg CO₂/kg N
- Pris på utsläppsätter 750 kr/ton
- Utsläppen av klimatgaser minskar med 1,5 kg CO₂/kg ersatt sojaprotein med vallprotein
- Dieselbehovet är 100 l diesel/ha&år vid odling av spannmål och oljevaxter
- 5 % minskat dieselbehov (enbart spannmål och oljevaxter) på grund av mer C i mark
- Minskad kostnad för växtskydd antas vara 50 kr/ha&år

Tabell 18. Förenklad beräkning av miljöeffekt som vallodling på växtodlingsgårdar medför och då vallen används för framställning av foderprotein.

	Mineral-N ton N/år	Red. klimatpåverkan ton CO ₂ /år	Värde kr/kg TS	Värde kr/ha vall
Ersatt mineral-N	38-235	137-847	0,03	213
Ökad markkol		913-5635	0,18	1417
Minskad diesel 5%		261-1 611	0,05	405
Vallprotein ersätter soja		0-2250	0-0,08	0-675
Minskad växtskyddsk.			0,01	102
Summa			0,27	2136

4.5 Värdering av halmens minskade miljöpåverkan

En mycket förenklad beräkning har genomförts för att beräkna storleksordningen på "samhällets" värde att växtodlingsgårdar börjar leverera halm till biogasanläggningar. Resultatet av denna beräkning blev dryga 170 kr/ha spannmålsodling och år (där halmen bärgas för rötning) vilket motsvarar ca 7 öre/kg TS, se tabell 19. Antagna parametrar till denna beräkning som allokeras till halmen är:

- Minskat behov av att köpa in mineralgödselkväve på grund av att det antas att halmens innehåll av kväve nyttjas bättre om den rötats och där kvävet devis har mineraliserats till ammoniumkväve
- Behov av växtskydd minskar. Detta antagande bygger dels på att halmen som levereras till biogasanläggning för rötning kommer värmebehandlas (t.ex. 70 °C och 1 timme eller liknande temperatur och tid förhållande) som bedöms kunna inaktivera ogräsfrön som följer med halmen samt att minskad mängd ej nedbruten halm som brukas ner i jorden efter skörd minskar vilket också bedöms kunna reducera behovet av att använda växtskyddsmedel.

Beräkningarna utgår från tabellerna 13–15 samt följande antagna ingångsdata till beräkningarna:

- 5 % av rötrestens NH₄-N förloras vid rötrestlagringen
- 1 kg NH₄-N i rötrest ersätter 1 kg mineralgödselkväve
- Utsläppen av klimatgaser vid framställning av mineralgödselkväve är 3,6 kg CO₂/kg N
- Pris på utsläppsrätter 750 kr/ton
- Minskad kostnad för växtskydd antas vara 150 kr/ha&år

Tabell 19. Förenklad beräkning av miljöeffekt då halmen bärgas på växtodlingsgårdar för rötning.

	Mineral-N ton N/år	Red. klimatpåverkan ton CO ₂ /år	Värde kr/kg TS	Värde kr/ha
Ersatt mineral-N	12–66	43–236	0,01	21
Minskad växtskyddsk.			0,06	150
Summa			0,07	171

4.6 Värdering av rötrestens minskade miljöpåverkan

En mycket förenklad beräkning har genomförts för att beräkna storleksordningen på "samhällets" värde kopplat till att rötrestproduktionen och att den separeras. Resultatet av denna beräkning för fast rötrest genererad vid de olika 8 alternativen blev 50–150 kr/ton fast fas, se tabell 20. Antagna parametrar till denna beräkning som allokeras till rötresten är:

- Minskat behov av att köpa in mineralgödselkväve på grund av att det antas att gödselns och avfallens innehåll av kväve nyttjas bättre om dessa biomassor rötas där dess innehåll av kväve delvis har mineraliserats till ammoniumkväve
- Rötresten avvattnas där det genereras en fast och flytande rötrest. Den fasta rötresten antas få en högre fosforkoncentration som möjliggör en förmedling av P som ursprungligen kommer från den rötade gödseln till de växtodlingsgårdar som antas använda den fasta rötresten som gödselmedel. Resultatet av detta blir dels att växtodlingsgårdarna kan minska sitt behov av att köpa mineralgödsel, dels att gårdar som levererar gödsel till biogasanläggningen för rötning får tillbaka mindre fosfor i returtransport av flytande rötrest än vad de skulle ha om de spred gödseln direkt på åkermarken utan rötning.
- Kol som har sitt ursprung i fastgödseln antas huvudsakligen hamna i den fasta rötresten vid rötrestavvattning. Detta medför på samma sätt som för fosfor att det möjliggörs en förmedling av C som ursprungligen kommer från den rötade fastgödseln till de växtodlingsgårdar som antas använda den fasta rötresten som gödselmedel. Resultatet av detta kolbidrag blir att växtodlingsgårdarnas innehåll av markkol ökar något snabbare än om de inte skulle gödsla sina grödor med fast rötrest. Vidare antas att effekten av den kolförlust som detta medför för de gårdar där fastgödseln har sitt ursprung marginellt påverkar dess åkermarks förråd av markkol.

Beräkningarna utgår från tabellerna 13–15 samt följande antagna ingångsdata till beräkningarna:

- 117–157 ton mer $\text{NH}_4\text{-N}$ /år på grund av rötning (ammonium från rötning av vall och halm har räknats bort)
- 31–143 ton P/år förmedlas från gård med animalieproduktion till gård med växtodling. Inkluderar även P i fastgödseln.
- 30 kr/kg P antas det att samhällets miljövinster för denna P-förmedling
- C-uppbyggnad i mark då C ifrån fastgödsel förmedlas från gård med animalieproduktion till gård med växtodling
- 25 % av C från rötad fastgödsel omsätts snabbt och bidrar ej till C-uppbyggnad

Tabell 20. Förenklad beräkning av miljöeffekten kopplat till rötningen av gödsel och avfall och där rötrest avvattnas med efterföljande förmedling av P och C till växtodlingsgårdar.

	Mineral-N ton N/år	Red. klimatpåverkan ton CO_2 /år	Värde kr/ton fast fas
Ersatt mineral-N	112–150	400–540	5–8
C-förmedling		1 970–6 030	27–75
P-förmedling			15–71
Summa			50–151

5 Ekonomi

Den redovisades ekonomin i detta kapitel för biogasproduktion och fettsyror har en orienterande karaktär. Syftet med att redovisa de beräknade kostnaderna för gas är att ge en indikation om vilka delar som driver kostnaderna samt hur stödsystem kan tänkas påverka kalkylen.

Det finns betydande osäkerhet i många av de gjorda antaganden, förenklingar har gjorts och i vissa fall antas affärsmodeller som idag ej är etablerade och dessa osäkerheter a ligger till grund för beräkningarna, varför mindre skillnader i redovisade produktionskostnader för gas ej är signifikanta.

5.1 Produktionskostnad för rågas

Beräkningen av produktionskostnad för rågas (dvs kostnad för biogas som lämnar rötchammaren innan uppgradering av biogas) bygger på använd metodik enligt Olsson m. fl. (2023) vilket ger indikativa investeringar mellan 270 och 380 Mkr för själva röttningsanläggningen. Kapitalkostnaden har beräknats med annuitetsmetod med 5 % ränta där avskrivningstid för olika delar i anläggningen antas variera från 8 år upp till 20 år.

Produktionskostnad för rågas utan stöd har beräknats vara 85–99 öre/kWh för de 8 alternativen, se tabell 21. Ref-alternativets produktionskostnad kommer från Olsson m. fl. (2023) och Ref c liksom Ref d bygger på samma kalkylförutsättningar med produktion av proteinfoder från vallgröda. Vidare redovisas i tabellen den procentuella uppdelningen av produktionskostnaden fördelat på 6 olika kostnadsposter vid beräkning utan stöd.

Att Alt 2 och Alt 6f får en högre transportkostnad förklaras av att dessa alternativ rötar mer flytgödsel och antas därför få ett större uppsamlingsområde för denna flytgödsel än övriga alternativ vilket har bedömts leda till en längre transportsträcka på ca 4 km vilket även gäller för den flytande rötresten.

Kapitalkostnaden blir högre för Ref - Ref d eftersom alternativen också inkluderar en investering i anläggning för proteinutvinning. Vidare är kapitalkostnaden något lägre för Alt 1 och Alt 9b än Alt 2, Alt 6f och Alt 8b vilket förklaras med att dessa alternativ behöver en något större total rötchammarvolym.

Biogas från halm ger dessutom en något högre råvarukostnad (framför alt Alt 2 och Alt 8b) än biogas från vall (framför alt Alt 1 och Alt 9b men indirekt även Ref till Ref d) vilket framförallt beror på ett väsentligt lägre antaget specifikt metanutbyte vid rötning av halm jämfört med utbytet från vallgröda.

I tabell 21 redovisas även produktionskostnaden för rågas med gödselgasstöd liksom de årliga kostnaderna. I alternativ 6f bidrar gödsel i högst grad till biogasproduktionen (drygt 40 %, se tabell 7) vilket medför att med dagens gödselgasstöd så ger det den lägsta produktionskostnaden för biogas. Även i Alt 2 bidrar gödseln i hög grad till biogasproduktionen (ca 35 %, se tabell 7), vilket påtagligt sänker produktionskostnaden för biogas om gödselgasstöd inkluderas.

Tabell 21. Produktionskostnad för rågas utan stöd och med gödselgasstöd (40 öre/kWh). Vidare visas årliga kostnader och dess uppdelning. Posten energi inkluderar elektricitet och flis som antas användas för framställning av processvärmebehovet.

	Produktionskostnad öre/kWh rågas		Kapital %	Arbete %	Under- håll %	Energi %	Råvara %	Trans- port %	Årlig kostnad Mkr/år
	exkl. stöd	inkl. göd- selgasstöd							
Ref	86 x)	79	24 x)	6 x)	7 x)	14 x)	37 x)	12 x)	136,3
Ref c	89 y)	84	23 y)	6 y)	7 y)	14 y)	40 y)	11 y)	139,6
Ref d	85 y)	76	24 y)	6 y)	7 y)	14 y)	36 y)	12 y)	134,3
Alt 1	88	79	23	6	6	16	36	13	109,4
Alt 2	95	80	25	6	7	16	30	16	106,5
Alt 6f	87	69	26	7	7	17	26	17	101,7
Alt 8b	99	93	22	6	6	16	41	10	116,2
Alt 9b	93	88	21	6	6	16	42	10	113,6

x) Fördelning av kostnaderna enligt Olsson m. fl. (2023). Det ska noteras att referenssystemet också producerar proteinfoder liksom har än annan avsättning av delar av den fasta fasen som genereras vid rötrestseparation. Detta påverkar parametrar som bidrar till produktionskostnaden, varför de inte är helt jämförbara med Alt 1 – Alt 9b.

y) Alternativet har analoga beräkningsförutsättningar som Ref.

Intäkterna utan stöd fördelat på intäkter på gas och växtnäring redovisas i tabell 22 för Ref till Alt 9b. Intäkterna från foderproteinfoder liksom växtnäring och fibrer i rötrest i tabell 22 baserar sig på Olsson m. fl. (2023).

Tabell 22. Fördelning av intäkterna på gas och växtnäring exklusive stöd.

	Gasintäkt, % av intäkterna	Växtnäringsintäkt, % av intäkterna	Proteinfoder % av intäkterna	Rötrestfiber % av intäkterna
Ref	63	14	20	3
Ref c	63	13	20	4
Ref d	63	14	20	3
Alt 1	80	20	-	-
Alt 2	88	12	-	-
Alt 6f	85	15	-	-
Alt 8b	85	15	-	-
Alt 9b	82	18	-	-

5.2 Beräkningsförutsättningar för gasuppgradering, förvätskning och gasledning

Eftersom biogasproduktionen (100 GWh/år) och produktionskostnaden för rågasen som genereras vid rötningsprocesserna är lika stora för de fyra alternativen väljer vi i denna orienterande studie att enbart beräkna kostnader för gasuppgradering,

förvätskning av biogas liksom för gasledning för ett av alternativen. Övriga parametrar och stöd påverkar likadant vid alla alternativen. De följande avsnitten fokuserar därför på att enbart belysa kostanden för biometan till kund för Alt 1. Ingående parametrar till alla beräkningar för gasuppgradering, förvätskning och gasledning visas i tabell 23.

Tabell 23. Parametrar för kostnadskalkyl

Parameter	Värde
Kalkylränta	5 %
Avskrivningstid processteknik	15 år
Avskrivningstid gasledning, grundval	30 år
D&U gasledning	1 % av investering per år
D&U övrigt	2,5 % av mek. investering per år
Investeringsstöd, grundval	0 %
Gödselgasstöd, grundval	0 kr/kWh
Stöd för uppgradering, förvätskning; grundval	0 kr/kWh

5.3 Total investering (Alt 1)

Tabell 24 liksom bild 9 visar den totala beräknade investeringskostnaden för ett 1500-GWh/år-system enligt Alt 1, från rötning fram till metan vid kund. Någon polering, förvätskning och lokal lagring är inte aktuell vid CBG-alternativet (dvs. gastransport i gasfas via rörledning). Vid bio-LNG-alternativet redovisas investeringen i transporten som "0 kr" eftersom hela transportkostnaden hanteras som driftkostnad genom upphandling av transporten som tjänst.

Tabell 24. Investering [Mkr] för 1500 GWh biogasproduktion och distribution av biometan till kund.

	CBG	Bio-LNG
Rågasproduktion	4145	4145
Uppgradering	926	926
Polering, förvätskning, lagring	0	1353
Gasledning	1940	0
Gaslagring i gasnät (LRC)	123	
Gaslagring hos kund		289
Summa	7143	6598

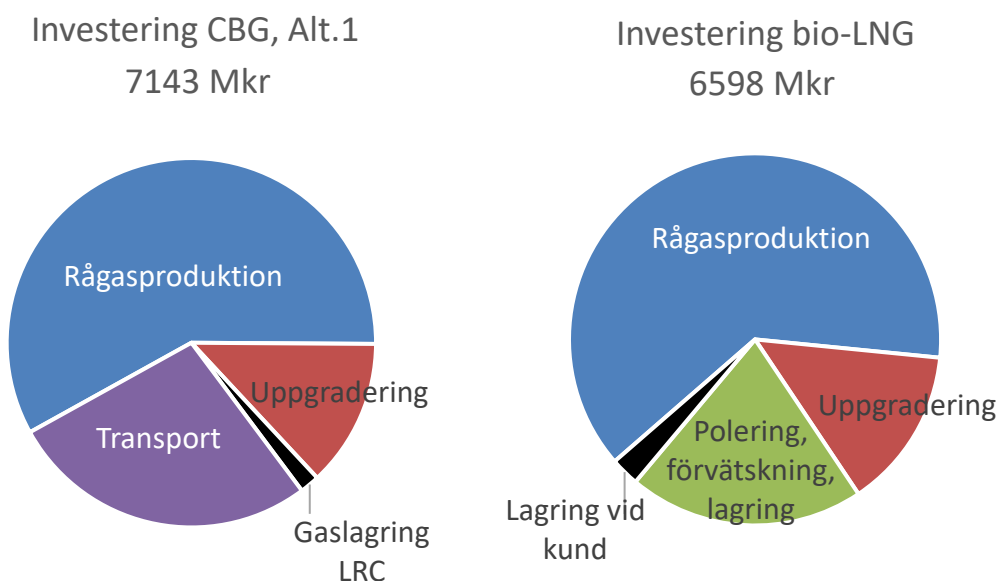


Bild 9: Fördelning av investeringskostnad för Alt 1 på de olika systemdelarna.

Sammanställningen visar att CBG-alternativet innebär något högre initialkostnader vilket beror på den höga kostnaden för rörledningen (närmast 2 miljarder kronor). Rörledningar orsakar alltid en hög initialkostnad för långa sträckor, och i Bohuslän är den högre än i andra regioner pga besvärlig terräng. Att gasledningar ändå kan vara kostnadseffektiva lösningar beror på stora gasvolymerna och en lång teknisk livslängd med låga driftkostnader. Vid bio-LNG-alternativet tillkommer istället en post för polering, förvätskning och lokal lagring som uppkommer vid varje anläggning och som adderar till runt 1350 Mkr, samt kostnaden för lagringen i kryogena tankar hos kund.

5.4 Intäkter från koldioxidinfångning

Andersson m. fl. (2021) har beräknat kostnaden för infångning av CO₂ från biogasen (vid uppgradering till drivmedelskvalitet) till 200–300 kr/ton flytande koldioxid (beroende av vilken typ av uppgraderingsteknik som biogasanläggningen antas ha) utan investeringsstöd för en biogasanläggning i skalan 120 GWh/år. För att sedan tillföra koldioxiden till ett slutlager (CCS – Carbon Capture and Storage) tillkommer LCO₂-transport från biogasanläggning till hamn, transportkostnader med fartyg och vidare ner i slutlager. Den totala kostnaden för bio-CCS beräknades till 800–1000 kr/ton CO₂ och ligger därmed på samma nivå som den förväntade prisnivån för CO₂ på CCS-marknaden. Med investeringsstöd ökar möjligheterna till att en investering i CCS-teknik blir en lönsam affär.

5.5 Kostnad för biometan

Tabell 25 visar den specifika kostnaden för varje systemdel i Alt 1 för att få fram biometan till västsvenska naturgasnätet/kund, utan några stöd. Summan landar något högre för bio-LNG-fallet än för gasledningstransport vilket i första hand beror på kostnaden för att

förvätska gasen. Denna kalkyl bygger på antagandet att det är 1500 GWh biometan som ska transporteras i biogasnätet.

Tabell 25. Biometankostnaden för Alt 1 per systemdel och fritt västsvenska naturgasnätet (kr/kWh, grundval utan stöd). För bio-LNG-lagringen hos kund har det antagits att kundens lager är på 100 m³ och förbrukningen på 100 GWh/år.

Systemdel	CBG	Bio-LNG
Rågasproduktion	0,86	0,86
Uppgradering	0,12	0,14
Polering, förvätskning, lagring	-	0,17
Transport (1500 GWh/år)	0,10	0,075
Gaslagring i gasnät resp. hos kund	0,015	0,008
Kostnad fritt kund	1,10	1,24

Känslighetsanalyser har genomförts för ett antal parametrar i både CBG- och bio-LNG-systemet, se bild 10 och 11.

CCS-intäkt, pris på utsläppsrätter, kapitalbehovet och avskrivningstiden för gasledningen har varierats från -50 till +50 %. Investeringsstödet har varierats från 0 till 40 %, men det har inte räknats in något investeringsstöd för byggandet av gasledningen. De övriga stöden har slutligen varierats mellan 0 och 0,5 kr/kWh (gödselgasstöd), 0 och 0,3 kr/kWh (uppgraderingsstöd), resp. 0 och 0,15 kr/kWh (förvätskningsstöd). Den övre intervallgränsen för stöden är det maximala stödet som är tillåtet. Utfallet av det faktiska stödet kan bli lägre vid stor efterfrågan där budgeterat belopp inte räcker för utbetalning av det fulla stödet.

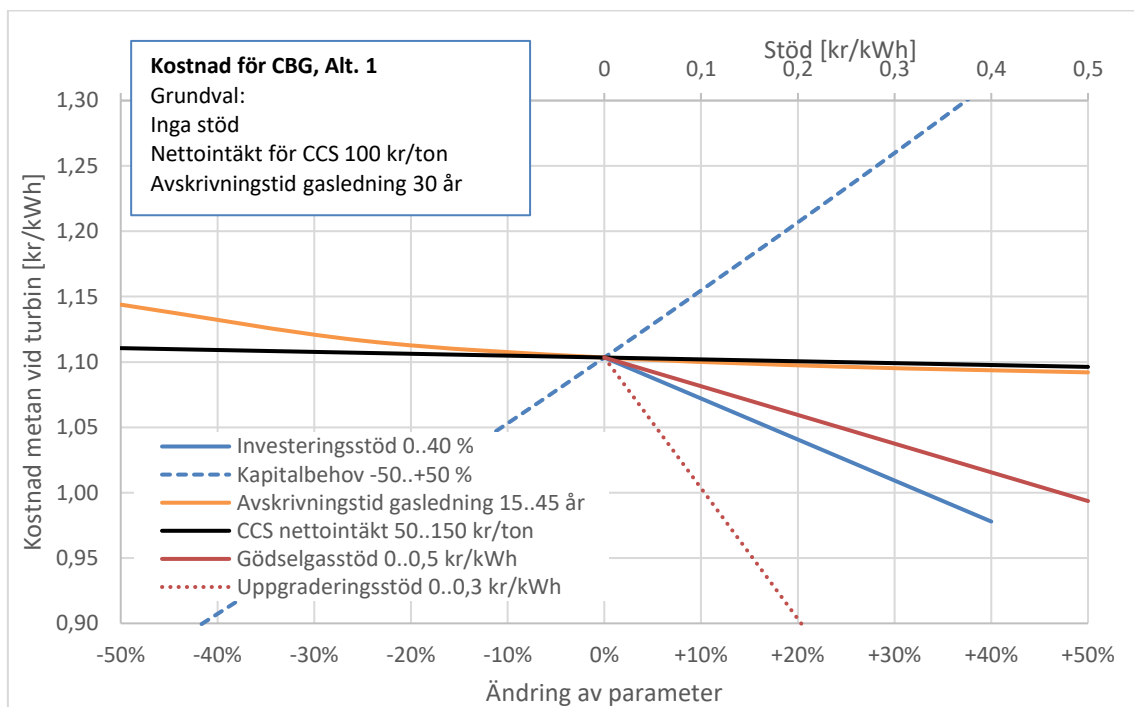


Bild 10. Känslighetsanalys för metankostnaden vid kund, enligt Alt 1 med transport i gasledning och grundval enligt rutan.

Känslighetsanalyserna visar att kapitalkostnaden är en viktig faktor. En ökning med 10 % leder till ett 5 öre/kWh högre gaspris. Fullt investerings-, gödselgas-, uppgraderings- och förvätskningsstöd sänker gaspriset med mellan 10 och 40 öre var. Intäkten från CCS påverkar gaspriset bara marginellt, likaså en förlängning av avskrivningstiden på gasledningen, medan en halvering av avskrivningstiden ökar gaspriset med 4 öre/kWh.

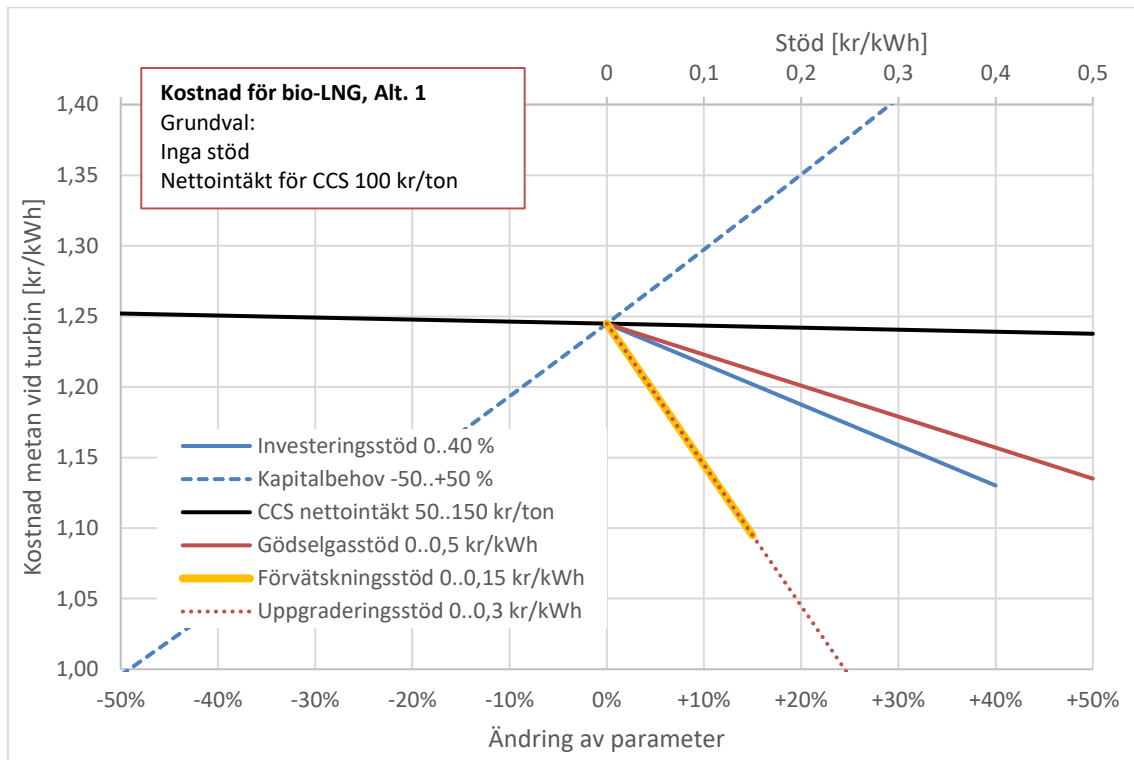


Bild 11. Känslighetsanalys för metankostnaden vid kund, enligt Alt 1 med transport som bio-LNG och grundval enligt rutan.

Vid grundvalet har CBG-systemet en kostnadsfördel på runt 15 öre/kWh jämfört med bio-LNG-systemet. Skillnaden jämnas ut om fullt förvätskningsstöd (idag upp till 15 öre/kWh) kan fås. En annan viktig faktor som behöver vägas in och som inte återspeglas i själva kostnadsbilden är dock att bio-LNG-systemet ger en större flexibilitet till import och export av flytande gas till och från regionen samt vid regionala ändringar på marknaden.

Om samtliga aktuella stöd kan fås så halveras slutpriset för metan vid kund till runt 60 öre/kWh både för komprimerad och flytande metan, se bild 12 och 13.

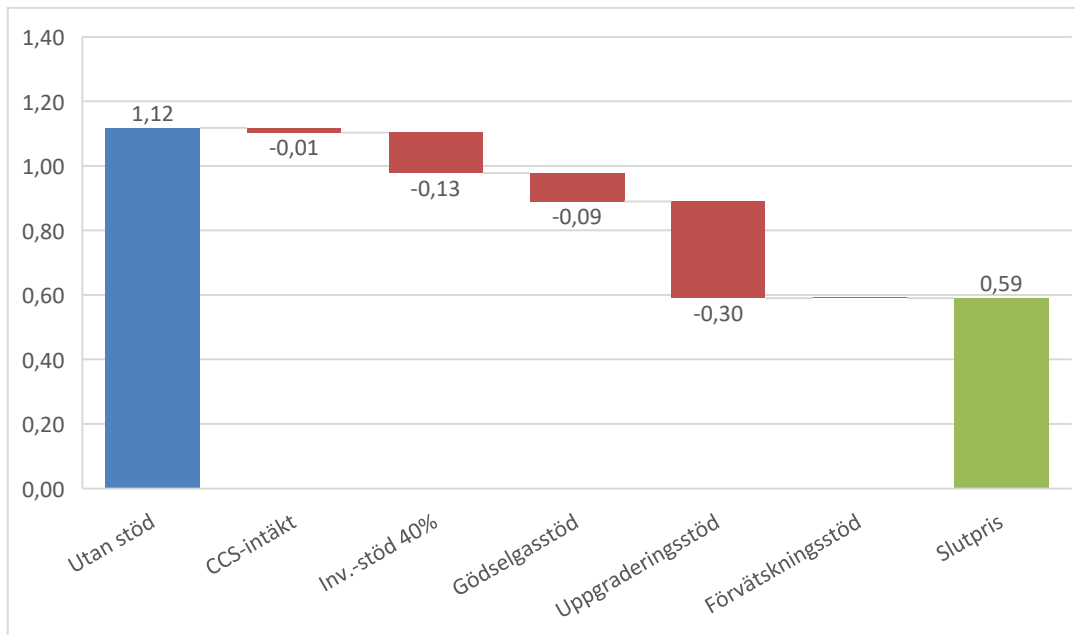


Bild 12. Slutpris för metan [kr/kWh] vid kund i CBG-systemet Alt 1 när fullt stöd kan fås.

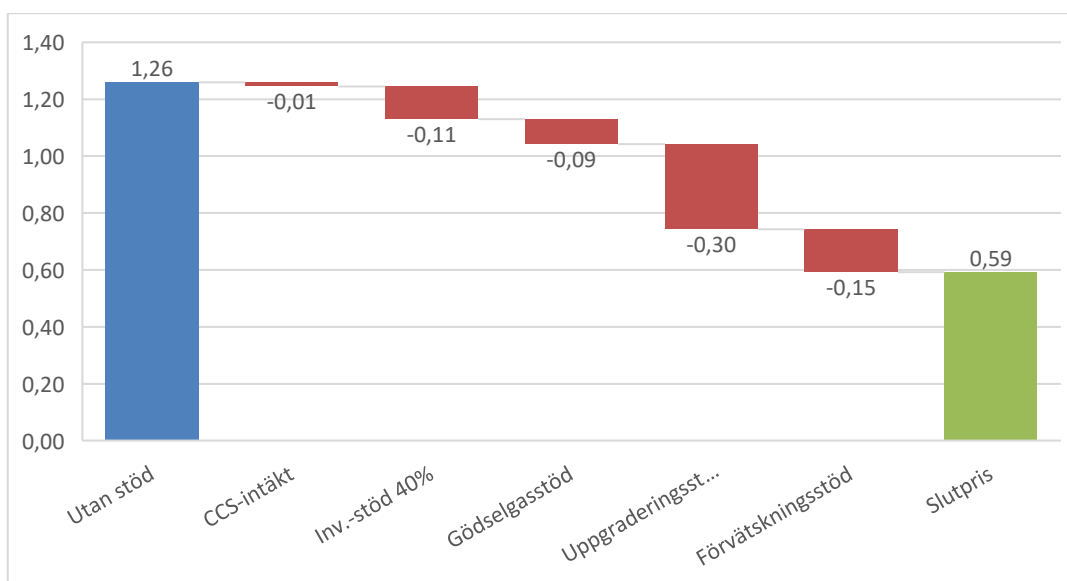


Bild 13. Slutpris för metan [kr/kWh] vid kund i bio-LNG-systemet Alt 1 när fullt stöd kan fås.

5.6 Förslag på alternativt stödsystem

Biogasmarknadsutredningens (2019) förslag på "Stödpaket I" är idag implementerad. Trots detta stödpaket har av olika skäl biogasproduktionen i Sverige inte ökat nämnvärt medan importen är fortsatt hög och ligger i samma storleksordning som landets totala biogasproduktion. Dock är flera stora biogasanläggningar under planeringsfas, byggnation och någon har tagits i drift där gödsel anges vara huvuds substrat. Det finns dock inget som tyder att dessa anläggningar i någon större omfattning har halm, vallgröda, blast eller mellangröda i den substratblandning de rötar. Detta medför att

pågående utbyggnad av biogasproduktionen med detta substratval inte kan matcha industrins efterfrågan på biogas. Det kan även konstateras att rötning av vall och halm inte kan monorötas effektivt utan samrötning med gödsel och då i synnerhet gödsel från nötkreatur är att föredra (Nordberg m.fl. 1997a; FitzGerald m.fl. 2019). Orsaken till detta är att gödseln t.ex. innehåller spårelement som är viktiga för mikroorganismernas tillväxt i röt-kammaren. Nordberg m.fl (1997b) har också påvisat att samrötning mellan vallgröda och matavfall går att drivas effektivt. Dock kan spårmetaller tillsättas istället för gödsel och Arthur m.fl. (2022) har visat att det går att monoröta halm effektivt med denna strategi. En annan fördel med samrötning mellan flytgödsel och halm/vallgröda är att den mest väletablerade rötningstekniken i Sverige CSTR (enstegs totalomblandad våt process) kan användas eftersom flytgödseln späder röt-kammarinnehållet vilket möjliggör att hålla röt-kammaren totalomblandad om vallgrödan/halmen finfördelas innan rötning. Dessutom finns överlägset störst kunskap om hur denna rötningssprocess ska drivas effektivt liksom utarbetade optimeringsstrategier.

Det kan konstateras att en framtida skattebefrielse av biogas är en hörnpelare för biogasens konkurrenskraft mot fossil energi liksom att investeringsbidrag som t.ex. klimatklivet erbjuder också är viktig för att möjliggöra investeringar. Dock är vår bedömning att de stöd och premier som idag finns (gödselgasstöd, uppgraderingsstöd och förvätskningsstöd) inte är anpassade för att maximera biogasproduktionen i Sverige för att matcha industrins efterfrågan. Utgående från detta är vår bedömning att det behövs ett alternativt stödsystem som bättre styr mot maximerad biogasproduktion men även ger lantbrukarna incitament att leverera halm, vallgröda men även blast och mellangröda för rötning. Dessutom bör det finnas incitament för att dels investera i teknik som möjliggör generell minskad miljöbelastning, dels effektivare utnyttjande av resurser. Exempel på detta är avvattning av rötrest följt av en strategi som styr fosfor och kol till de fält där de gör mest nytta. Förslaget nedan på ett nytt stödsystem är indikativt med syfte göra det mer gynnsamt för nya stora biogasanläggningar, eller för befintliga som vill modifiera sin driftstrategi, att samröta gödsel, halm, vallgröda, blast eller mellangröda samt organiskt avfall både för biogasanläggningen men även för lantbrukaren. Förslaget har utgått ifrån ansatsen att stödkostnad i öre/kWh biogas ska bli ungefär lika stor som dagens stöd (se kapitel 5.7). Det har inte tagits någon hänsyn till huruvida detta förslag är genomförbart med tanke på regelverk i Sverige eller EU. Ej heller vilket/vilka departement som borde administrera stödet och om det går mot olika intresseorganisationers eller företags strategier. Denna typ av överväganden behöver mer djupgående analyseras liksom vilka alternativa stöd och styrmedel som finns. Det föreslagna systemet är anpassat för storskalig biogasproduktion där vallgröda och halm är viktiga råvaror för biogasproduktion. Det finns många befintliga biogasanläggningar i gårdsskala och samrötningssanläggningar med väsentligt lägre produktion än vad som belyses i denna studie, vars ekonomi är beroende av nuvarande stödsystem. Därför bör det nuvarande stödsystemet finnas kvar även om ett nytt stödsystem introduceras som är anpassad för nya anläggningar som huvudsakligen rötter vallgröda och halm.

Förslaget är följande:

1. minska dagens gödselgasstöd från 40 öre/kWh till 15 öre/kWh
2. minska gasuppgraderingsstödet från 30 öre/kWh till 20 öre/kWh
3. införa produktionsstöd för halm, vallgröda, mellangröda och blast så att den blir lika stor som biogas från gödsel, dvs 15 öre/kWh
4. förvätskningsstödet ligger kvar på dagens nivå på 15 öre/kWh.

5. införa stöd till jordbrukare som en morot för att odla vallgröda (ca 30 öre/kg TS, se tabell 18) till rötning liksom för att de ska leverera halm för rötning (ca 10 öre/kg TS, se tabell 19). Det ger fördelar som mer varierade växtföljder på växtodlingsgårdar och minskat behov för jordbruket att köpa in mineralgödsel-kväve vilket kan minska jordbrukets bidrag till övergödningen, binda in mer kol i marken vilket tillsammans kan minska jordbrukets utsläpp av klimatgaser
6. införa stöd till biogasanläggningen för att avvattna rötresten och förmedla fast fas till växtodlingsgårdar (ca 100 kr/ton fast fas, se tabell 20) som både behöver fosfor men även mullämnen för att långsiktigt bibehålla eller till och med öka markens bördighet. Detta leder till minskat behov för jordbruket att köpa in mineralgödsel-fosfor minskar jordbrukets bidrag till övergödningen men även binda in mer kol i marken vilket minskar jordbrukets utsläpp av klimatgaser.

5.7 Stödsystemets kostnad

Det i detta arbete föreslagna alternativa utformning av stödpaket har ansatsen att stödkostnad i öre/kWh biogas ska bli ungefär lika stor som dagens stöd.

Dagens stödsystem

I tabell 26 redovisas ett beräknat stöd för de 8 olika 100 GWh-anläggningar där ca 84 % av biogasen kommer från agrara biomassor, om dagens stöd används (gödselastöd 40 öre/kWh och uppgraderingsstöd på 30 öre/kWh).

Tabell 26. Kostnad för dagens stödsystem för 1 st anläggning för de 8 olika alternativen.

Stöd	Ref	Ref C	Ref d	Alt 1	Alt 2	Alt 6f	Alt 8b	Alt 9b	Enhet
Gödsel	6,9	4,8	8,7	8,8	14,5	17,8	5,9	4,7	Mkr/år& anlägg.
Uppg.	<u>30,0</u>	<u>30,0</u>	<u>30,0</u>	<u>30,0</u>	<u>30,0</u>	<u>30,0</u>	<u>30,0</u>	<u>30,0</u>	"-"
Summa	36,9	34,8	38,7	38,8	44,5	47,8	35,9	34,7	"-"

Föreslagna stödsystem

I tabell 27 redovisas ett beräknat stöd för de 8 olika 100 GWh-anläggningar där ca 84 % av biogasen kommer från agrara biomassor (biomassorna gödsel, halm och vallgröda har ingått i kalkylen men även blast och mellangröda borde få samma stöd), om förslag på modifierat stöd används enligt:

- 15 öre/kWh för alla agrara biomassor
- 20 öre/kWh för uppgradering
- Stöd för vall (V) och halm (H) till biogas går till jordbrukarna och stöd för att avvattna rötrest (R) går till biogasanläggningen

Tabell 27. Kostnad för föreslagnas stödsystem för 1 st anläggning för de 8 olika alternativen.

Stöd	Ref	Ref C	Ref d	Alt 1	Alt 2	Alt 6f	Alt 8b	Alt 9b	Enhet
Agrara b.	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	Mkr/år& anlägg.
Uppg.	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	"-"
V+H+R	<u>11,0</u>	<u>10,2</u>	<u>12,0</u>	<u>8,4</u>	<u>7,2</u>	<u>11,2</u>	<u>6,4</u>	<u>7,3</u>	"-"
Summa	39,4	38,5	40,4	36,8	35,5	39,5	34,5	35,7	"-"

5.8 Produktionskostnad för fettsyror

Den beräknade produktionskostnad för blandade fettsyror blir ca 10-11 SEK/kg exklusive personalkostnader, se bilaga 1. Detta kan jämföras mot marknadspriser för multitonkvantiteter av samma flyktiga fettsyror i öppna källor (Calt, 2015 anger efter dialog med Perstorp optimistiska eller t o m helt felaktiga priser som är ca dubbelt så höga som faktiskt gällande världsmarknadspriser vid inköp av multitonkvantiteter) på mellan 11 – 23 SEK/kg för rena enskilda flyktiga fettsyror utan grön premie. Ingen analys har genomförts över huruvida en produktionskostnad på 10-11 kr/kg blandade fettsyror är konkurrenskraftig gentemot dagens produktionsteknik (se bilaga 1). Kostnaderna för nedströms rening av blandade flyktiga fettsyror till enskilda fettsyra att utföras av kemiindustrin har heller inte inkluderats.

I produktionskostnaden för blandade flyktiga fettsyror inkluderas en råvarukostnad på 5,6 Mkr/år. Denna kostnad är en allokering av råvarukostnaden för Ref-alternativet som utgör 37 % av totala årliga kostanden på 136,3 Mkr per år (se tabell 21) och där biogasproduktionen beräknas sjunka med 17,5 % om fettsyror utvinns som ett försteg innan rötning (se kapitel 3.5).

6 Förenklad beskrivelse av miljökonsekvenser

I de fall 100 GWh biogas ersätter naturgas minskar CO₂ utsläppen med ca 25 000 ton CO₂ utgående från utsläppsfaktorn 0,248 kg CO₂/kWh för naturgas (Naturvårdsverket 2023). I denna beräkning har det ej beaktats att framställningen av biogas också resulterar i utsläpp av klimatgaser.

Koldioxiden som separeras bort från producerad biogas i en 100 GWh-anläggning väger ca 12 000–13 000 ton/anläggning och år och det finns uppgraderingstekniker som mer eller mindre ger rena CO₂-strömmar. Den separerade koldioxid ifrån biogasen kan enkelt förvätskas och ingå i Bio-CCS handel eller utnyttjas in anläggningar för Bio-CCU.

Att beskriva övriga miljöeffekter är väsentligt mer komplext och är beroende av substratsammansättning, om rötresten avvattnas eller om annan processning samt lokala förhållanden och driftinriktningar för jordbruket som är kopplad till biogasanläggningen. De förändringar av växtnäringensflöden samt inbyggnad av markkol i åkermark som redovisas i denna rapport vilar på vetenskapligt bräcklig grund. Exempelvis har det ej använts vedertagen LCA-baserad metod för att jämföra system och det finns betydande osäkerhet i hur vedertagna, de använda nyckeltalen för beräkningar av miljöpåverkan, faktiskt är. Det saknas även en analys över hur de framtagna resultaten förhåller sig till alternativa vägar för att uppnå motsvarande miljöeffekt. Därför ska sammanställningen nedan av beräknade miljöeffekter ses som indikativ. Följande parametrar har ändå besiffrats för de olika 8 alternativa anläggningarna som var och en producerar 100 GWh biogas:

- I ett handelssystem med inlagring av kol i mark skulle de beskrivna förändringar inom jordbruket för att odla vall men även kolflytt via rötrest med ursprung fastgödsel i en LULUCF-handel kunna ge intäkter på motsvarande ca 3 200–8 200 ton fångad koldioxid.
- Det reducerade behovet av insatsmedel i form av diesel, mineralgödselkväve samt import av sojaprotein beräknas resultera i minskade utsläpp av klimatgaser på ca 1 000–2 900 ton CO₂/år.
- Biogasanläggningen kan möjliggöra förmedling av fosfor från gårdar med animalieproduktion (har ofta ett P-överskott) vars gödsel rötas till gårdar med växtodling som köper in mineralgödsel. 31–143 ton P/anläggning & år beroende på substratblandningen. Denna beräkning inkluderar P-differensen mellan flytgödseln och flytande rötrest samt hela P-innehållet i fastgödseln.
- Risken för fosforläckage från åkermark med högt P innehåll (P-AL klass V och IV B och i någon mindre grad IV A) till vatten är stor. Därför är rekommendationen att ej fosforgödsla dessa åkrar. Odling av vallgröda för rötning medför dock en fosforbortförsel från dessa åkermarker på ca 24 kg P/ha& år. Motsvarande siffra för halm som bortförs är ca 2,5 kg P/ha& år. I kustnära områden med mycket animalieproduktion kan detta vara en väg att minska jordbrukets bidrag till övergödningen av hav. Potentialen för denna fosforbortförsel för de 8 alternativen ligger i häradet 30–70 ton P/år och anläggning (bygger på antagandet att all areal där det odlas vall liksom bärgas halm för rötning har fosforklassen V och IV B och att ingen rötrest

sprids på dessa arealer). Ingen analys har gjorts gällande hur stor andel av åkermarken i de 3 studerade regionerna som ligger i dessa mycket höga fosforklasser.

Tabell 28. Minskade utsläpp av klimatgaser för 1 respektive 50 anläggningar för de 8 olika studerade alternativen samt procentuellt bidrag till denna minskning fördelat på att biometan ersätter naturgas, Bio-CCS på koldioxid fångad från biogasen vid uppgradering, inlagring av markkol i åkermark samt minskade utsläpp från jordbrukets användning av insatsmedel.

	Ref	Ref C	Ref d	Alt 1	Alt 2	Alt 6f	Alt 8b	Alt 9b	Enhet
1 anlägggn.	50,6	49,1	50,5	46,3	41,7	46,4	43,5	45,9	k ton CO ₂ -ekv/anlägg & år
50 anlägggn.	2,53	2,46	2,54	2,31	2,08	2,32	2,18	2,30	M ton CO ₂ -ekv år
Biometan	49	51	50	54	60	54	57	54	% av red CO ₂ -ekv
Bio-CCS	25	25	25	27	30	27	29	27	"-"
Markkol	16	14	16	14	8	17	10	13	"-"
Insatsmedel	10	10	10	5	2	3	4	5	"-"

Det beräknade maximala antalet 100 GWh-anläggningar som går att uppföra i de studerade regionerna är starkt beroende av hur mycket vallgröda som antas kunna odlas i respektive region antingen för proteinutvinning (där resterna rötas) eller där vallen direktrötas. För att producera den mängd vallgröda som behövs är bedömningen att växtodlingsgårdarna i hög grad behöver stå för denna vallodling, vilket troligen kommer leda till en minskad odling av spannmålsgrödor. Även om denna studie visar på miljömässiga vinster med detta och att det finns flera nyligen genomförda statliga utredningar som rekommenderar utökad vallodling, finns det frågetecken över hur detta påverkar växtodlaren's ekonomi.

Därför har två olika beräknings-case genomförts med 35 respektive 50 anläggningar, med olika behov att avsätta areal för vallodling, fördelade på regionerna VG, Halland och Skåne, se tabell 29 och 31. Dessa beräkningar bygger på att för fallet med 35 anläggningar utgörs 16 av anläggningar som inkluderar utvinning av protein från vall innan rötning medan fallet med 50 anläggningar utgör 19 st. proteinutvinning från vall. I fallet med 35 anläggningar behövs det vallgröda från totalt ca 58 000 ha/år där ca 70 % av vallen också används för proteinutvinning för foderframställning (se tabell 29) medan för fallet med 50 anläggningar behövs det vallgröda från totalt ca 92 000 ha/år där ca 50 % av vallen används för proteinutvinning (se tabell 31).

Tabell 29. Exempel på behov av areal där det odlas vallgröda vid 35 anläggningar fördelat på de 8 olika alternativen samt vilken region som dessa anläggningar antas ligga i.

	Ref	Ref C	Ref d	Alt 1	Alt 2	Alt 6f	Alt 8b	Alt 9b	Summa	Enhet
VG			12		3				15	st
Halland						3			3	st
Skåne		4					13		17	st
Summa vallareal	0	10 000	30 000	0	1 400	2 600	13 800	0	58 000	ha

För att försörja dessa 35 st. anläggningarna med råvaror från jordbruket för rötning behöver i medel ca 50% av den potentiella tillgången på restbiomassorna halm och gödsel i de tre regionerna användas utöver vallgrödan, se tabell 30.

Tabell 30. Utnyttjande av den av potentiella tillgången av gödsel och halm i de tre regionerna om 35 st. anläggningar uppförs enligt tabell 29. Potentialen av biomassor baserat på studier genomförda av Broberg m. fl. (2022) respektive Olsson m. fl. (2023).

	VG	Skåne	Halland	Enhet
Flytgödsel	66	52	75	% av potential
Fastgödsel	44	53	75	% av potential
Halm	45	45	60	% av potential

Tabell 31. Exempel på behov av areal där det odlas vallgröda vid 50 anläggningar fördelat på de 8 olika alternativen samt i vilken region som dessa anläggningar antas ligga i.

	Ref	Ref C	Ref d	Alt 1	Alt 2	Alt 6f	Alt 8b	Alt 9b	Summa	Enhet
VG			12	4	3				19	st.
Halland	1					3			4	st.
Skåne		6					13	8	27	st.
Summa vallareal	3 000	15 000	30 000	8 900	1 400	2 600	13 800	17 300	92 000	ha

För att försörja dessa 50 st. anläggningarna med råvaror från jordbruket för rötning behöver i medel ca 70% av den potentiella tillgången på restbiomassorna halm och gödsel i de tre regionerna användas utöver vallgrödan, se tabell 32.

Tabell 32. Utnyttjande av den av potentiella tillgången av gödsel och halm i de tre regionerna om 50 st. anläggningar uppförs enligt tabell 31. Potentialen av biomassor baserat på studier genomförda av Broberg m. fl. (2022) respektive Olsson m. fl. (2023).

	VG	Skåne	Halland	Enhet
Flytgödsel	87	78	75	% av potential
Fastgödsel	54	79	75	% av potential
Halm	53	59	60	% av potential

Det ska noteras att ingen av dessa två beräknings-case med 35 respektive 50 anläggningar inkluderar VFA-produktion.

7 Diskussion

7.1 Ekonomi och stöd

De beräknade produktionskostnaderna i denna rapport är bara indikativa eftersom det var syftet med denna studie. Exempel på detta är att beräkningarna ej inkluderar vinster i varje aktörsled liksom att kalkylerna vilar på osäker grund inklusive både tekniska och biologiska processmässiga funktioner. Vidare inkluderas en intäkt på växtnäring på överskottsproduktion av flytande rötrest liksom för hela mängden producerad fast rötrest och denna affärsmodell är inte etablerad idag. Krav på vinstnivå är kopplat till risk och att uppföra de första anläggningarna av detta slag är betingad med hög risk, liksom att en snabb utbyggnad av produktionen också påverkar krav på vinst. Det ska även noteras att valda substratblandningar för rötning bygger på att maximera biogasproduktionen ifrån de tre regionerna Västra Götaland, Halland och Skåne. Däremot har ingen optimering gjorts vad det gäller substratsammansättningen för att uppnå en lägsta möjlig produktionskostnad för biogasen.

För att biogasen ska kunna vara ett konkurrenskraftigt alternativ till fossil energi krävs styrmedel. Exempel på detta är rådande lagstiftning gällande omhändertagande av organiskt avfall som styr det mot rötning. Med valda beräkningsantaganden, nuvarande biogasstöd och rådande priser på naturgas visar denna studie att biogas kan vara en konkurrenskraftig energibärare i jämförelse med naturgas. Denna slutsats kan snabbt ändras om priset på naturgas återgår till den nivå som den hade före Rysslands storskaliga invasion av Ukraina år 2022 liksom om politiska beslut tas att minska stödet för biogasproduktion.

Ett historiskt viktigt stöd har varit att biogas har varit befriad från energi- och CO₂-beskattning, men EU-Tribunalen förklarade att EU-kommissionens beviljande av detta gjordes utan en djupare granskning varför Sverige under en period ej godkände denna skattebefrielse. Kommissionen har nu genomfört en sådan granskning och godkänt att Sverige har skattebefrielse under perioden 2021 till 2030. Vidare finns tre produktionsstöd i form av a) stöd till biogas från gödsel, b) uppgradering av gas och c) förvätskning av biometan samt ett investeringsstöd via Klimatklivet. Baserat på regeringens senaste budget (oktober 2024) kommer dessa stöd gälla fram till åtminstone år 2027. Det kan konstateras att nuvarande stödsystem är kortsiktiga och att Sveriges riksdag snabbt kan fatta beslut som ändrade stödsystemen men också att EU beslut kan leda till osäkra villkor. Avsaknaden av långsiktiga villkor för biogasproduktion medför en betydande ekonomisk risk att investera i ny biogasproduktion, vilket i sin tur hindrar en snabb utbyggnad.

Med argument kopplat till minskad miljöpåverkan, ökad självhushållning och resursutnyttjande finns det stöd för att röta gödsel medan det saknas stöd för att röta halm liksom vallgröda där det också går att argumentera att rötning av dessa två biomassor också kan bidra till dessa effekter. Avsaknaden av stöd för halm och vallgröda bedöms kunna utgöra ett hinder för utbyggnaden av biogasproduktion från jordbrukets biomassor. Det går även att argumentera att det även borde finnas andra morötter som styr mot investeringar i teknik som kan medföra ytterligare miljövinster i biogassystemet såsom minskade emissioner av ammoniak och metan vid rötresthantering liksom styra

fosfor och kol som finns i rötrest till gårdar där den gör störst nytta. Detta parametrar har detta arbete försökt att beakta med ett skissartat förslag på alternativ utformning av stödpaket, med ansatsen att stödkostnad i öre/kWh biogas ska bli ungefär lika stor som dagens stöd. Förhoppningsvis kommer EU:s implementering av Green Deal leda till system som skapar långsiktiga och gynnsamma villkor för att fasa ut fossil energi, ge morötter för att investera i åtgärder som minskar rötresthanterings miljöbelastningen och premiera ökad resurseffektivitet.

En alternativ stödform till de som föreslagits i denna rapport är i stället stöd som baserar sig på omvända auktioner. Denna stödform har nyligen använts av Energimyndigheten vid auktionering av negativa utsläpp av klimatgaser via Bio-CCS. Industrins Biogaskommission (2025) föreslår ett konkurrensutsatt biogasstöd som kallas CfD (Contract for Difference) som är en variant på omvända auktioner.

Biogas kan även produceras via termisk förgasning. Biogas från rötning bör stödas på samma premisser som biogas från förgasning. Detta adresseras av Industrins Biogaskommission (2025).

7.2 Regionala skillnader

Förutsättningarna att producera biometan till industrin från gödsel, halm och vall till lägst produktionskostnad verkar vara bäst i Halland. Detta beror dels på att jordbruket är lokaliserat nära västsvenska naturgasnätet vilket minskar distributionskostnaden, dels att gödselandelen bidrag till gasproduktionen troligen blir högre än i VG och Skåne vilket med dagens gödselgasstöd är gynnsamt.

Med dagens gödselgasstöd blir produktionskostnaden för biogas högst i Skåne eftersom tillgången på gödsel är lägre i denna region än i Halland och VG. Dessutom kommer en högre andel av biogasen från halm, vilket med de gjorda beräkningsantagandena i denna studie, leder till en dyrare gas än biogas från vallgröda och gödsel. Vidare kommer det troligen vara större tekniska utmaningar att driva den i denna studie föreslagna rötningsteknik (CSTR) vilket bygger på att det finns tillgång till biomassor med lågt innehåll av torrsbstans för att späda ner TS-halten i röt-kammaren och därmed möjliggöra totalomblandning av denna. Pluggflödesrötning kan här vara en teknik som har ett lägre behov av spädning av röt-kammare.

7.3 Biogasanläggningen

Det finns både tekniska och biologiska utmaningar att röta fiberrika substratblandningar som är fallet för de åtta substratblandningar som beräkningarna utgår ifrån i denna rapport. Rötningens faktiska funktion inklusive gasutbytet behöver studeras och demonstreras liksom om det finns andra rötningstekniker som är bättre anpassade än CSTR som föreslås i denna studie.

7.4 Integrering av produktion av blandade flyktiga fettsyror i biogasanläggningen

Möjligheten att öka den ekonomiska lönsamheten för biogasanläggningen genom att utöver betydande mängder biometan även producera flyktiga fettsyror som i

sammanhanget representerar produkter med ett betydligt högre värde per viktenhet än biometan och som dessutom i dagsläget är svåra att producera i biogen form med andra tekniker (se bilaga 1), är något som projektet definitivt ser som angeläget att undersöka vidare. Efter den genomgång av öppen forskning och utveckling som gjorts i detta projekt gällande framställning och isolering av flyktiga fettsyror via AAD-processer med efterföljande reningssteg så är det tydligt att mer utvecklingsarbete krävs för att optimera och demonstrera framförallt reningsteknologier för flyktiga fettsyror innan industriell uppskalning, något som redogörs för i bilaga 1 och avsnitten *Reningstekniker som sannolikt kommer behövas hos den kemiska industrin* nedströms samt *Framåtblick med rekommendationer kring vidare arbete*. Behov av ytterligare utvecklingsarbete summeras även här i punktform:

- En mer detaljerad jämförande teknoekonomisk och LCA-studie mellan att producera fullt ut förnybara flyktiga fettsyror med den redan använda industriellt mogna processen i Figur 2 i bilaga 1 jämfört med en (mer utvecklad) AAD-process framstår som ett tydligt behov. Detaljerade processimuleringar i Aspen av optimerade processvarianter bör utgöra grunden för sådana studier. Råvaruhantering, transport och logistikaspekter behöver också ingå i utredningsarbetet.
- Det är viktigt att igen poängtera att de produktionsvolymerna och kostnader som skattas och beräknas under Resultat och Diskussion i bilaga 1 är förknippade med osäkerheter och bygger på en sammanvägning av valda data från öppen litteratur och experiment utförda hos RISE utgående från bl a brunjuice från vallbaserad proteinproduktion. Det är endast efter optimering av AAD-processen med tillhörande reningssteg för att nå rena flyktiga fettsyror utgående från aktuella startmaterialsammansättningar som man med säkerhet kan beräkna viktiga faktorer som produktionskapaciteter och robustare kalkyler avseende kostnader för att producera flyktiga fettsyror i den här aktuella anläggningstypen som illustreras ovan i Bild 4.
- AAD-processen behöver underkastas vidare utvecklingsarbete för processoptimering inkl. reningssteg utgående från representativa startmaterialblandningar med demonstration i pilot-skala innan mer ingående processimuleringar, beräkningar och eventuell uppskalning kan göras. Denna typ av arbete behöver göras i samarbete med valda aktörer inom olika delar av värdekedjan inkl. väl valda företag i kemiindustrin.

7.5 Gasdistribution och lagring

Bio-LNG-alternativet har några fördelar som större flexibilitet för import och export över regiongränserna, lägre kapitalbehov och med förvätskningsstöd lägre pris. Distributionssystemet för bio-LNG kan byggas upp på mycket kort tid, medan det kan ta många år att få en gasledning på plats. Nackdel med bio-LNG är högre energibehov.

Gasledningsalternativ är ur ett större systemperspektiv mer effektivt att ansluta till västsvenska naturgasnätet. Utan motsvarande stöd som motsvara befintliga stöd för förvätskning blir ledningsalternativet dyrare.

7.6 Vall och mellangrödor för avsättning till bioraffinaderi

Mängden biogas som potentiellt kan produceras från jordbrukets restströmmar är beroende av vilken substratblandning som väljs. Optimalt är att flytgödsel ingår i blandningar med torrare substrat som fastgödsel, halm och vall istället för att rötas som

enda substrat. Dessutom ökar potentialen ju mer vall som odlas men eftersom vallen till del kommer att ersätta spannmål så leder det till att såväl mängden spannmål som halm minskar, fastän minskningen till en del kompenseras av vallens förfruktseffekter som ökar spannmålsavkastningen i efterföljande grödor. Tidigare har lantbrukare i södra och mellersta Sverige kunnat söka miljöersättning för vallodling. På uppdrag från Regeringen har Jordbruksverket tagit fram ett förslag om ny miljöersättning för vallodling som ska kunna sökas inom CAP senast 2026 (Regeringen, 2024). Stödet kommer troligen begränsas till €47 per ha och till de geografiska områdena som inte täcks av kompensationsstödet dvs slättbygder.

Dessutom kan biomassor för rötning komma via användande av mellangrödor, hållbar intensifiering liksom nyttja träda för vallodling och därmed reducera behovet av att ersätta spannmålsodling med vall. Enligt jordbruksstatistik ligger ca 25 000 ha åkerareal i träda i VG vilket bedöms relativt väl motsvara den areal vall som behövs till ca 15 stycken 100 GWh-anläggningar i denna region, medans areal i träda i Skåne är väsentligt mindre än i VG. En annan möjlighet kan vara att lägga om hela arealen till vallodling på gårdar som vill upphöra med aktivt jordbruk och arrendera ut till biogasanläggningar.

Mellangröda är en gröda som har sin huvudsakliga tillväxt mellan två huvudgrödor, och där syftet med att odla mellangrödan kan variera (Aronsson m.fl., 2023). Idag finns en ekonomisk ersättning för funktionen att öka inlagringen av kol i marken och enligt Jordbruksverket bedöms detta stöd bli ca 128 Euro under 2025. Ett villkor för att få stöd är att skörd av mellangröda tidigast får ske i 10 oktober i VG och 20 oktober i Halland och Skåne.

Det är en stor utmaning för jordbrukare att etablera en mellangröda, eftersom skörden prioriteras liksom att det ska finnas fukt i mark (Aronsson m.fl., 2023). Om mellangrödan brukas ner i mark risker markens lustgasemissioner att öka. Att föra bort biomassa via en skörd för rötning och spridning av rötrest framställd av mellangröda har visat sej vara en metod att minska dessa lustgasemissioner. Vilken mängd biomassa som kan skördas är beroende av hur väl man lyckas etablera mellangrödan liksom val av mellangröda. Aronsson m. fl. (2023) rapporterar om stor variation i biomassa ovan mark mellan ca 130 kg ts/ha upp till dryga 3 ton ts/ha. Vidare rapporteras att det kan vara problematiskt att skörda mellangrödor sent på hösten, eftersom skörden innebär körning med tunga maskiner under en period då det kan råda blöta förhållanden, vilket ökar risken för packningsskador på många jordar.

Tolkningen av detta blir att mellangröda kan bidra med biomassa till en stor biogasanläggning för produktion av biogas, men att det inte går att planera driften av biogasanläggningen utgående från att det ska rötas en stor mängd mellangröda, eftersom tillgången verkar vara osäker.

7.7 Aktörer

Gröna näringarnas affär inkluderar många av regionens lantbrukare. Utgående från Johansson m. fl. (2022), som anger att det finns närmare 1200 lantbrukare i Västra Götaland som brukar åkerareal överstigande 100 ha, bedöms det behöva kopplas ett 60-tal jordbruksföretag per 100 GWh-biogasanläggning i Västra Götaland. För att organisera inflöden av jordbrukets biomassor till rötning liksom leverans av rötrest som gödselmedel kan en ny aktör behövas som kan fungera som mellanhand mellan

biogasanläggning och lantbrukare. Detta för att kunna vara en affärspartner som förstår lantbrukarnas villkor och förutsättningar för att eventuellt kunna hålla ihop vall- och halmaffär med fast rötrest-affär, men även vara en affärspartner till enskilda biogasanläggningar och kanske en aktör som kan göra större investeringar i infrastruktur kopplat till de gröna näringarnas affär. Ett exempel är Götene Biogas ekonomisk förening som samordnar leverans av gödsel för biogasproduktion, där det planeras för att rötas 400 000 ton gödsel per år som hämtas från ett 80-tal jordbruksföretag. Två andra exempel är biogasanläggningarna Vårgårda-Herrljunga Biogas samt More Biogas (i Kalmar län) som båda rötar närmare 100 000 ton gödsel per år och till dessa anläggningar finns 10–20 jordbruksföretag kopplade.

Utöver hantering av biomassor för rötning och rötrest som gödselmedel krävs troligen aktörer för att distribuera biometan och vara affärspartner till industrin liksom andra potentiella kunder men också en aktör för avsalu av koldioxid som fångats från biogasen för en bio-CCS/CCU marknad.

För att lyckas med att femdubbla biogasproduktionen till 2030 anger Industrins biogaskommission (2025) att biogasanläggningarna behöver bli mer storskaliga. Vidare pekar kommissionen på att samarbeten – där exempelvis ett flertal lantbrukare går samman och bygger storskaliga biogasanläggningar tillsammans med biogasproducenter – är en väg framåt.

7.8 Omställning, beredskap och biogasproduktion

Samhället inklusive industri och jordbruk behöver ställas om för att uppnå EU:s miljömål. En del i detta är EU:s Green Deal program där Zero Industry Act ingår som bland annat har målet att det i EU senast år 2030 ska produceras 350 TWh biometan. Sveriges bidrag till detta EU-mål blir ca 10 TWh/år (biogasproduktion i Sverige är för närvarande dryga 2 TWh/år). Detta stämmer väl med gasbehovet som svenska Industrins biogaskommission efterfrågar. Det kan konstateras att det behövs en femdubbling av biogasproduktionen för att nå detta mål på 6 år. Troligen kan EU:s gröna omställning som innehåller en kommande expansion av handel med utsläppsrätter (ETS 2) bli en viktig parameter som kan ge nya motiv till investeringar i miljöteknik, liksom långsiktiga villkor för delfinansiering av storskalig biogasproduktion med biomassor från jordbruket.

Även jordbruket står inför en omställning att minska direkta utsläpp av klimatgaser och öka kolinlagringen i åkermark samt att bättre nyttja jordbrukets restprodukter och därmed generera positiva substitutionseffekter (SOU 2023:84). Där föreslås även att odla fleråriga grödor såsom vall vilket leder till kolinlagring i mark. Dessutom föreslås att vallen kan användas för råvara till bioraffinaderier som producerar proteinfoder, biogas och andra biobaserade produkter.

Säkerhetspolitiska kriser och handelsstörningar kan snabbt resultera i brist på insatsvaror (t.ex. handelsgödsel, växtskyddsmedel och diesel). SOU 2024:8 konstaterar att försörjningstryggheten för jordbrukets insatsvaror bör stärkas för att stärka livsmedelsberedskapen, där en ökad inhemsk produktion och användning av biodrivmedel är en del av detta. Vidare bedömde Utredningen om ett fossiloberoende

jordbruk (SOU 2021:67) att den bästa livsmedelsberedskapspolitiken för ett nytt civilt försvar vore att införa politiska styrmedel och genomföra satsningar för att snabba på en omställning till fossilfritt lantbruk.

Industrins Biogaskommission (2025) konstaterar att ”när svenskproducerad biogas ersätter importerade fossila råvaror stärks också vår beredskap, och den nationella sårbarheten för externa kriser och geopolitiska risker minskar”. Vidare bidrar biogasen till en klimatneutral, cirkulär och inhemsk försörjning av råvara och energi.

7.9 Ökad biogasproduktion via biologisk metanisering av syngas alternativt via e-metan

Biogasproduktion via rötning med totalomblandade kontinuerligt matade röt-kammare (dvs rötningstekniken som antas användas i denna rapport) är en välbeprövad för rötning av avfall, slam och flytgödsel. I röt-kammaren finns mikroorganismer som kan omvandla kolmonoxid till metan och även koldioxid om det finns vätgas tillgängligt. Omvandling av syngas (från förgasningsanläggning) men även gasblandningar av koldioxid och vätgas kan t.ex. ske i en trickle bed röt-kammare (TBR). Andersson m. fl. (2024) har visat att TBR-rötning fungerar väl att via biologisk metanisering omvandla dessa gaser till biogas via rötning. Denna teknik är under utveckling där försök pågår i lab.- och pilotskala men uppskalning till kommersiell skala pågår, se t.ex. <https://biogasclean.com/e-fuel/>.

En teknoekonomisk utvärdering för ”småskalig” förgasning av skogsrester i kombination med biologisk metanisering med efterföljande uppgradering och producerad biogas och förvätskning resulterade i en produktionskostnad på 740 till 1300 SEK/MWh LBG för produktionsvolymen på 68 till 205 GWh/år av LBG med syngas som råvara för rötning i TBR (Andersson m. fl. 2024).

Att injiceras vätgas framställd via elektrolys direkt till rötningprocess eller i en separat TBR-reaktor dit även producerad biogas tillförs kan vara ett alternativt sätt uppgradera biogas till biometan som också påtagligt kommer att öka produktionen av metan och detta kan även ses som en Bio-CCU teknik. Eftersom konceptet har ett stort el-behov är produktionskostnaden av e-metan från koldioxid starkt beroende av elpriset. Biogaskommissionen (2025) pekar på att om en biogasanläggning även förses med utrustning för produktion av e-metan från den koldioxid som finns i biogasen kan produktionen av biometan från denna anläggning öka med 30–50 %.

7.10 Reducerade utsläpp av klimatgaser

Med antagandet att det ska produceras 5 TWh biogas via rötning med de substratblandningar som beskrivs i denna studie (dvs 50 st 100 GWh-anläggningar) beräknas detta ha en potential att minska utsläppen av klimatgaser med storleksordningen 2,0–2,5 miljoner ton CO₂-ekvivalenter per år. Dryga hälften av denna reduktion orsakas av att biometan ersätter naturgas, ca en fjärdedel under förutsättning

att biogasens koldioxid som separeras bort vid biogasanläggningen används för Bio-CCS/CCU och resterande fjärdedel kopplar till minskningar i jordbruket kopplat till ökad uppbyggnad av markkol (framför allt orsakad av att vall introduceras i spannmålsdominanta växtföljder) och minskade utsläppen kopplat till användningen insatsmedel. Om de reducerade utsläppen orsakad av biometan och Bio-CCS/CCU allokeras till industrins totala utsläpp av klimatgaser (ca 15 miljoner ton CO₂/år territoriella utsläpp, www.Naturvardsverket.se) motsvara detta en minskning för hela industrin på ca 13 %. Om dessa reducerade utsläpp i stället allokeras till kemiindustri och raffinaderier (ca 4 miljoner ton CO₂/år territoriella utsläpp, www.Naturvardsverket.se) motsvara detta en minskning för detta industrisegment på ca 50 % om det nyttjas Bio-CCS vid biogasanläggningen. Det kan även konstateras att den industri som använder biometan också kan använda Bio-CCS/CCU för att fånga biometanets kol, under förutsättning att detta kol ej byggs in i den produkt som industrin producerar (t.ex. i polymerer och alkoholer). Denna ytterligare potential för Bio-CCS/CCU vid industrin är något större än den ovan redovisade potentialen för Bio-CCS/CCU vid biogasanläggningen och adderas den till fullt ut skulle detta ge en minskning av klimatgasutsläpp för detta segment på ca 18 %.

På samma sätt, om de reducerade utsläppen orsakade av uppbyggnad av markkol och minskade användningen insatsmedel allokeras till jordbrukets utsläpp av klimatgaser (ca 6 miljoner ton CO₂/år territoriella utsläpp, www.Naturvardsverket.se) motsvarar detta en minskning för detta segment på ca 3–10 % beroende viken av de 8 olika biogasalternativen som beräkningen utgår ifrån, där substratblandningar med mycket halm ligger i den undre regionen medan alternativ där vall används för framställning av foderprotein och där pressresterna rötas ligger i de övre regionen.

Hassler (2023) pekade på att om Sverige ska uppnå EU-lagstiftningen till år 2030 gällande upptag av kol i mark (kallas LULUCF-sektorn) ska det ske en ökad inlagring i mark motsvarande 4 miljoner ton CO₂/år. Den beräknade uppbyggnaden av markkol i denna studie motsvarar 4–10 % av detta beting beroende viken av de 8 olika biogasalternativen som beräkningen utgår ifrån.

8 Slutsatser

Studien har visat att det via rötning av biomassor från jordbruket i de västsvenska regionerna Västra Götaland, Halland och Skåne finns förutsättningar att producera en tredjedel till hälften av den biogas som Industrins biogaskommission efterfrågar. Denna höga gasproduktion bygger på att merparten av regionens jordbrukare är villiga att delta i systemet för att dels leverera biomassa i form av restbiomassorna gödsel och halm (ca 50-70% av de potentiellt tillgängliga biomassorna) tillsammans med odlad vallgröda (ca 58 000 till 92 000 ha) för biogasproduktion, dels använda producerad rötrest som gödselmedel.

Odling av denna vallgröda kan reducera den areal där det idag odlas spannmål, vilket påverkar enskilda jordbrukares verksamhet, samtidigt som jordbruket i de studerade områdena kan öka sin självförsörjandegrad av proteinfoder. Samtidigt bedöms det finnas ett behov av en mer varierad växtföljd i form av odling av vallgröda (gräs och kvävefixerade grödor) för markvård på gårdar i stråsädesdominerade slättlandskap. Denna vallodling bedöms leda till ökad mullhalt (dvs kolinlagring) och detta leder långsiktigt till ökade skördar. Den rötrest som biogasproduktionen genererar, innehåller både kol liksom växtnäring. Förses anläggningen med separationsutrustning kan både kol och fosfor styras till de gårdar som har mullfattig åkermark och som idag köper in mineralgödselmedel. Denna styrning kan både bidra till ökad mullhalt (dvs kolinlagring i mark) och minskat behov av att importera fosforgödselmedel, dessutom kan detta långsiktigt bidra till minskad övergödning av våra hav.

Studien visar även att biogasproduktion kan vara en produktionsgren i ett bioraffinaderi där det även produceras fettsyror till industrin och proteinfoder till jordbruket. Utöver den biometan som utvinns från producerad biogas, kan en anläggning även bli leverantör av gödselmedel med olika sammansättningar och egenskaper till jordbruket liksom CO₂ för Bio-CCS/CCU applikationer. Om det i regionerna Västra Götaland, Halland och Skåne tillsammans produceras motsvarande hälften den biogas som Industrins biogaskommission efterfrågar för att fasa ut naturgas och där den CO₂ som separeras ut används till Bio-CCS/CCU skulle detta medföra minskade utsläpp av klimatgaser motsvarande 2–2,5 miljoner ton CO₂-ekv/år. Detta motsvarar en minskning av klimatgasutsläppen för hela industrin på upp till ca 13 %, men om denna reduktion av klimatgaser bara allokeras till kemiindustri och raffinaderier motsvarar detta en minskning för detta industrisegment på upp till ca 50 %. Använder industrin biometan i sina produktionsprocesser och dessa genererar CO₂ finns dessutom möjlighet att även här installera Bio-CCS/CCU vilket kan resultera i ytterligare utsläppminskningar.

Utgående från gjorda beräkningsförutsättningar bedöms det finnas förutsättningar att producera både biogas och fettsyror till industrin till en ungefärlig samma prisnivå som för dagens pris på naturgas inklusive dess beskattning. Denna bedömning innehåller dock ett antal beräkningsantaganden som vilar på osäker grund. Exempel på detta är osäkerheter kring kapitalkostnad och rörliga kostnader samt den beräknade intäkten på den fasta rötresten som bidrar med upp till 20 % av intäkterna. Vidare bedöms det vara ett högriskprojekt att genomföra en snabb utbyggnaden av produktionskapacitet av biogas och fettsyror från jordbrukets biomassor. Detta beror bl.a. på att de kemiska och fysikaliska egenskaperna på halm och vallgröda skiljer sig påtagligt mot egenskaperna på det avfall som rötas idag. Omfattningen av rötning av halm och vallgröda är väldigt

liten idag och dessa biomassor utgör en mindre del av den rötade substratblandningen. Det finns dessutom både tekniska och biologiska liksom systemmässiga utmaningar i de föreslagna systemen för produktion av biogas och fettsyror. Systemet är stort och inkluderar många aktörer och det är oklart hur dessa aktörer ska organisera sig, stora investeringar behövs genomföras för att få ihop ett fungerande system, dessutom behövs tydliga incitament även för jordbrukarna. Därför rekommenderas starkt att genomföra försök i relevant skala med aktuella biomassor och teknik innan konceptet skalas upp. Det behövs även fördjupade teknoekonomiska analyser av systemet liksom att mer noggrant beskriva miljöpåverkan med LCA-metod. Vidare behövs en analys över hur företag (inklusive jordbruk) kan organisera och tillvägagångssätt för att uppförandet många stora anläggningar under en kort period.

Ska det vara möjligt att på kort tid etablera denna storskaliga produktion från jordbrukets biomassor behövs långa kontrakt på produktionen, en god vinstmarginal, långsiktiga spelregler vad det gäller stöd och där det även finns tydliga ekonomiska incitament för jordbruket att delta. Projektet har även föreslagit ett skissartad alternativ utformning av stödpaket, detta för att de stöd och premier som idag finns (gödselgasstöd, uppgraderingsstöd och förvätskningsstöd) inte är anpassade för att maximera biogasproduktionen i Sverige för att matcha industrins behov. I arbetet har det även skissats på en alternativ utformning av stödpaket. Utgångspunkten för detta förslag har varit att stödkostnad i öre/kWh biogas ska bli ungefär lika stor som dagens stöd. Det har vidare konstaterats att en framtida skattebefrielse av biogas fortsatt är en hörnpelare för biogasens konkurrenskraft mot fossil energi liksom att investeringsbidrag som t.ex. klimatklivet erbjuder också är viktig för att möjliggöra investeringar.

Till sist, en framtida satsning för att uppföra bioraffinaderier, som via jordbrukets biomassor genererar gröna insatsråvaror till industrins omställning, kan också bidra till jordbrukets omställning. Samtidigt leder konceptet till en ökad självförsörjningsgrad vilket är viktigt om krisen kommer.

9 Referenser

- Andersson J., Ahlström J., Berg K., Olsson H., Karlsson L.-E., Niinipuu M., Pizzul L. 2024. Biologisk metanisering av syngas från förgasning och pyrolys - lovande koncept mot implementering. RISE Rapport 2024:26
- Andersson, J., Tamm, D. & Berg, K. 2021. Bio-CCS från biogasanläggningar. RISE Rapport 2021:92. ISBN: 978-91-89385-82-5. Uppsala.
- Api, A.M. *et al.* 2018: *RIFM fragrance ingredient safety assessment, Hexyl acetate, CAS Registry Number 142-92-7, Food and Chemical Toxicology 118*, S103–S113, <https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.06.043>.
- Aronsson, H., Ernfors M., Kätter T., Bolinder M., Svensson S.-E., Hansson D., Prade T. Bergkvist G. 2023. Mellangrödor i växtföljden – för kolinlagring och effektivt kväveutnyttjande. Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet. (Ekohydrologi, 179)-.
- Arthur R., Antonczyk S., Off S., Scherer P. Mesophilic and Thermophilic Anaerobic Digestion of Wheat Straw in a CSTR System with ‘Synthetic Manure’: Impact of Nickel and Tungsten on Methane Yields, Cell Count, and Microbiome. 2022. *Bioengineering* 2022, 9, 13.
- Bhatt A. H., Ren Z., Tao L. 2020. Review: Value Proposition of Untapped Wet Wastes: Carboxylic Acid Production through Anaerobic Digestion. *iScience* 23, 101221 June 26, 2020.
- Bauer F., Hulteberg C., Persson T., Tamm D. 2013: Biogas Upgrading – Review of commercial technologies. SGC Rapport 2013:270
- Bickers, D.R. *et al.* 2003: The safety assessment of fragrance materials, *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 37, 218–273, [https://doi.org/10.1016/S0273-2300\(03\)00003-5](https://doi.org/10.1016/S0273-2300(03)00003-5).
- Biogasmarknadsutredningen. 2019. Mer biogas! För ett hållbart Sverige. SOU 2019:63.
- Broberg K., Lindahl L., Tamm D. 2022. Potentialstudie för biogassubstrat i Västra Götaland, Halland och Skåne. RISE Rapport 2022:58. ISBN: 978-91-89561-98-4.
- Calt, E. A. 2015: Products Produced from Organic Waste Using Managed Ecosystem Fermentation. *Journal of Sustainable Development* 8, 43, <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.3006.3528>. Priserna som redovisas i denna artikel har i dialog med Perstorp AB visat sig vara optimistiska eller direkt felaktiga.
- Edström M., Gunnarsson C., Tamm D. Westlin H. 2024. Biogasens roll i Skaraborgs omställning. Biogasdriven turbin som effektreserv i Västra Götaland (ännu ej publicerad)
- Eliasson L. RISE. Personligt meddelande. 2025.
- Energigas Sverige. 2024. Produktion av biogas och rötresten och dess användning år 2023.

- FitzGerald J., Wall D., Jackson S., Murphy J., Dobson A. 2019. Trace element supplementation is associated with increases in fermenting bacteria in biogas mono-digestion of grass silage. *Renewable Energy* 138 (2019) 980-986. ELSEVIER.
- Gallegos D., Wedwitschka H., Moeller L., Zehnsdorf A., Stinnera W. 2017. Effect of particle size reduction and ensiling fermentation on biogas formation and silage quality of wheat straw. *Bioresource technology* 245 (2017) 216-224. ELSEVIER.
- Giduthuri A. T., Ahring B. K. 2023. Review Current Status and Prospects of Valorizing Organic Waste via Arrested Anaerobic Digestion: Production and Separation of Volatile Fatty Acids. *Fermentation* 2023, 9, 13.
- Hassler, J. 2023. Sveriges klimatstrategi, 46 förslag för klimatomställning i ljuset av Fit-For-55. Regeringskansliet, Klimat och näringslivsdepartementet.
- Henryson K., Meurer K. H. E., Bolinder M. A., Kätterer T., Tidåker P. 2022. Higher carbon sequestration on Swedish dairy farms compared with other farm types as revealed by national soil inventories. *Carbon Management Vol 13, NO. 1*, 266–278.
- Hjort A., Isaksson B. 2018: Utveckling av innovativa koncept för konkurrenskraftig produktion av flytande biogas – Delrapport 4: Marknads- och distributionsanalys. Vinnova-rapport.
- Huq N A., Hafenstine G R., Huo X., Nguyen H., Tift S. M., Conklin D. R., Stück D., Stunkel J., Yang Z., Heyne J. S., Wiatrowski M. R., Zhang Y., Tao L., Zhu J., McEnally C. S., Christensen E. D., Hays C., Allsburg K. M. V., Unocic K. A., Meyer III H. M., Abdullah Z., Vardon D. R. 2021. Toward net-zero sustainable aviation fuel with wet waste-derived volatile fatty acids. *PNAS* 2021 Vol. 118 No. 13 e2023008118.
- Industrins Biogaskommission. 2025. Mer biogas till industrin!
- Johansson A., Johansson T., Westlin H. 2022. Hur digitaliserat är lantbruket i Västra Götaland? Agroväst.
- Kätterer T., Bolinder M. A. 2024. Response of maize yield to changes in soil organic matter in a Swedish long-term experiment. *European Journal of Soil Science*, 75(2), e13482. <https://doi.org/10.1111/ejss.13482>.
- Lindholm E-L. Energimyndigheten. Personligt meddelande. 2025.
- LRF. 2023. Kostnader för Jordbrukets gröna omställning. Näringspolitisk rapport från LRF #1. Livsmedelsberedskap, klimat och natur.
- Naturvårdsverket. 2023. Klimatklivet - Vägledning om beräkning av utsläppsminskning
- Nordberg, Å., Edström, M. 1997a. Optimering av biogasprocess för lanbruksrelaterade biomassor. JTI-rapport, Kretslopp & Avfall nr 11. Uppsala.
- Nordberg, Å., Edström, M., Pettersson C.-M., Thyselius, L. 1997b. Samrötning av vallgrödor och matavfall. JTI-rapport, Kretslopp & Avfall nr 13. Uppsala.
- Olsson J., Edström M, Fjäll S., Gunnarsson C., Gustafsson T., Myrbeck Å., Pizzul L., Westlin H. 2023. Jordbruksbaserat bioraffinaderi - kombination av lokal och regional skala. RISE Rapport 2023:137.

Regeringen, 2024. [Uppdrag att ta fram förslag till ändring av miljöersättningar i Sveriges strategiska plan för den gemensamma jordbrukspolitiken - Regeringen.se](https://www.regeringen.se/om-regeringen/uppdrag-att-ta-fram-forslag-till-andring-av-miljoersattningar-i-sveriges-strategiska-plan-for-den-gemensamma-jordbrukspolitiken)

Rasse, D., & Rumpel C. Dignac M. -F. 2005. Is soil carbon mostly root carbon? Mechanisms for specific stabilization. *Plant and Soil*. 269. 341-356. <https://doi.org/10.1007/s11104-004-0907-y>

SOU 2019:63 Mer biogas! För ett hållbart Sverige

SOU 2021:67. Vägen mot fossiloberoende jordbruk.

SOU 2023:84. En hållbar bioekonomistrategi – för ett välmående fossilfritt samhälle

SOU 2024:8. Livsmedelsberedskap för en ny tid

SOU 2025:21. Miljömålsberedningens förslag om en strategi för hur Sverige ska leva upp till EU:s åtaganden inom biologisk mångfald respektive nettoupptag av växthusgaser från markanvändningssektorn.

Sundberg M., Johansson W., Hjortsberg H., Hansson K., Oostra H., Elmquist H. 1997. Biogas i framtida lantbruk och kretsloppssamhällen – Effekter på mark, miljö och ekonomi. JTI rapport Kretslopp och avfall Nr 12.

Woo H. C. Kim Y. H. 2019: Eco-efficient recovery of bio-based volatile C2–6 fatty acids. *Biotechnol. Biofuels* 12, 92, <https://doi.org/10.1186/s13068-019-1433-8>.

Bilagor

Bilaga 1. Delrapport kring förutsättningar för produktion av volatila fettsyror (VFA) från restprodukter från jordbruk i Västra Götalandsregionen (VG)

En delrapport inom projektet ”Biogas och högvärdiga insatsråvaror från jordbruksrestströmmar i Västra Götalandsregionen”, bedrivet inom Vinnväxt Klimatledande Processindustri

Författare: RISE Research Institutes of Sweden AB (RISE): Martin Hedberg; Lovisa Eliasson; Mats Edström; Carina Gunnarsson

Introduktion

Volatila fettsyror (VFAs, raka och grenade karboxylsyror med två till sex eller t o m åtta kolatomer¹) tillhör klasserna bulk- och specialkemikalier med en mycket bred uppsättning olika användningsområden¹ och de betingar ett liknande eller ibland högre värde än biometan (runt 1500 USD/ton för biometan² mot upp till över ca 2000 USD/ton VFA beroende på vilken VFA som avses, se **Figur B1:1**). Samtidigt är behovet av biometan i samhället såväl som i kemisk industri för närvarande mycket större än det nuvarande behovet av VFAs.³ VFAs är dessutom till skillnad från det flyktiga biometanet mer utmanande att separera ut i ren form från de relativt molekylärt komplexa och utspädda VFA-haltiga vattenlösningar som erhålls från sk arrested anaerobic digestion (AAD-) processer. Det har bedrivits och bedrivs forskning på att förbättra teknoekonomin för isolering av rena VFAs från AAD,⁴ också eftersom man ser stor

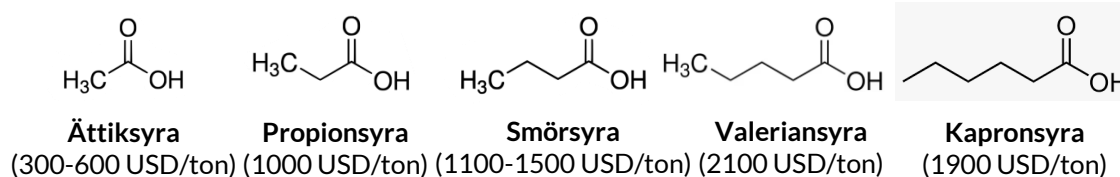
¹ Se ex vis i referens 3 c) nedan angående användningsområden i industriella produkter för respektive VFA.

² Denna prisnivå är ungefärlig och har i denna rapport räknats fram bl a utifrån data som finns publika på följande hemsidor: [Vad är energiinnehållet i naturgas, biogas och fordonsgas? - Energigas Sverige](#) och [Billigast gaspris just nu - en oberoende jämförelse av gaspriser](#).

³ 70% av den naturgasmängd som importeras till Sverige (ca 14 TWh) används av industrin som råvara och/eller för energiproduktion, se ex vis [Användningsområden - Energigas Sverige](#) och [Energianvändning inom industrin](#)). Omräknat till vikt baserat på ett energivärde på ca 13-14 kWh/kg ([Vad är energiinnehållet i naturgas, biogas och fordonsgas? - Energigas Sverige](#)) motsvarar bara den svenska naturgasimporten årligen ca 1,1 miljoner ton som helst helt ska ersättas med biometan. Detta kan ex vis jämföras med den årliga biogasproduktionen 2022 i Sverige på 2,8 TWh ([Små förändringar i biogasproduktionen under 2022](#)). Som jämförelse skattades den globala årsproduktionen av VFA:n valeriansyra 2023 i sammanhanget låga ca 140 Kton, se [Valeric Acid Market Research Report 2032](#).

⁴ För valda referenser som beskriver AAD-processer för framställning av VFAs inkl reningssteg, se i a) Bhatt, A. H. *et al.* *iScience* **2020**, *23*, 101221, <https://doi.org/10.1016/j.isci.2020.101221>, b) Teknoekonomiska beräkningar m m: Pinto *et al.* *Bioresource Technology* **2023**, *388*, 129726 och referenser däri, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2023.129726>; c) en review-artikel som ger en översikt över även olika reningsmetoder för VFAs från AAD-processer: Ge, X. *et al.* *Fermentation* **2023**, *9*, 821, <https://doi.org/10.3390/fermentation9090821>, d) För en review-artikel som bland annat diskuterar

potential för användningen av blandade VFAs som startmaterial för bl a produktion av hållbara flygbränslen (sustainable aviation fuels, SAF), något som vid fullskalig kommersiell applikation signifikant skulle öka efterfrågan.⁵



Figur B1:1. Kemiska formler och trivialnamn samt ungefärliga bulkpriser för de vanligast förekommande VFAs som bildas i AAD-processer utgående från diverse organiska avfallsströmmar.^{4,6} De priser som Calt *et al.* rapporterar i referens 6 är ungefär dubbelt så höga och har korrigerats efter dialog med Perstorp AB.

Denna delrapport, som är en bilaga till huvudrapporten för projektet ”*Biogas och högvärdiga insatsråvaror från jordbruksrestströmmar i Västra Götalandsregionen*”, bedrivet inom Klimatledande Processindustri, innehåller preliminära och relativt enkla beräkningar och skattningar kring produktion av valda kommersiellt relevanta VFAs (se **Figur B1:1**) från restströmmar från jordbruket inom systemgränsen Västra Götalandsregionen (VGR) utgående från massflöden till, inom och från 100 GWh biogasanläggningar redovisade i en rapport från projektet ”*Jordbruksbaserat bioraffinaderi - kombination av lokal och regional skala*” finansierat av Stiftelsen Lantbruksforskning.⁷ Beräknade massflöden utgående från scenariot att ett antal 100 GWh biogasanläggningar modifieras så att de producerar både VFAs, biometan och protein från vallodling till djurfoder, redovisas schematiskt i **Figur B1:4** nedan.

De övergripande viktigaste frågorna som denna delrapport ger ett ungefärligt svar på (se under *Resultat och diskussion*) är hur mycket av blandade respektive rena enskilda VFAs som skulle vara möjligt att producera årsvis från ett antal modifierade 100 GWh biogasanläggningar och lite resonemang kring hur dessa volymer förhåller sig till Perstorp AB:s ordinarie produktion av valda VFAs. Efter det går delrapporten in på preliminära kostnader för att komplettera modifierade 100 GWh biogas-anläggningar så att de även kan producera anrikade blandade VFAs att säljas som startmaterial för kemiindustrin. Basen för denna rapport är öppet tillgänglig information och data i bl a forskningslitteraturen.

Förutsättningar och antaganden

Modifiering av 100 GWh biogasanläggningar till att producera även råa blandade VFAs

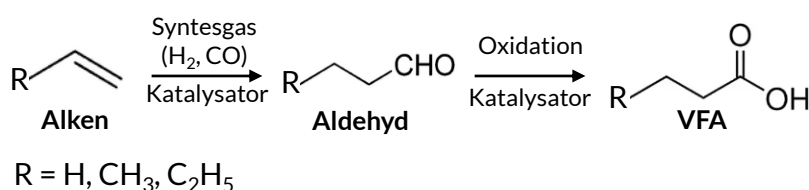
framställning och användningsområden för VFAs med upp till sex kol: Agnihotri, S. *et al.* *Bioengineered*, **2022**, *13*, 1249-1275, <https://doi.org/10.1080/21655979.2021.1996044>.

⁵ Se text i referens 3 b) och i Huq, N. A. *et al.* *PNAS* **2021**, *118*, e2023008118, <https://doi.org/10.1073/pnas.2023008118>.

⁶ Calt, E. A. *Journal of Sustainable Development* **2015**, *8*, 43, <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.3006.3528>. Bulkpriserna angivna i denna artikel publicerad 2015 har i dialog med Perstorp AB visat sig vara antingen optimistiska eller direkt felaktiga. Vid skarp offertförfrågan avseende multiton-kvantiteter av enskilda VFAs kan priset per ton förstås bli annorlunda och det kan vara så att högre priser går att ta ut för biobaserade varianter av produkterna i **Figur B1:1**.

⁷ Olsson, J. *et al.* RISE rapport 2023:137 *Jordbruksbaserat bioraffinaderi - kombination av lokal och regional skala*, **2023**, från RISE avdelning Jordbruk och Livsmedel, tillgänglig via <https://ri.diva-portal.org/smash/get/diva2:1842741/FULLTEXT01.pdf>.

Propionsyra, smörsyra och valeriansyra (**Figur B1:1**) produceras idag av ex vis Perstorp AB⁸ från rena startmaterial i form av en alken (i fallet med ovan uppräknade VFAs så utgörs alken-startmaterialen av etylen, propylen respektive 1-buten) och syntesgas (för en schematiskt illustration av processen, se **Figur B1:2**).⁹ Utifrån processen som illustreras i **Figur B1:2** är det uppenbart att biometan kan bidra till ett ökat innehåll av biogent kol i dessa produkter genom användning som råvara för biogen syntesgasproduktion.¹⁰



Figur B1:2. Schematisk illustration av Perstorp AB:s mycket atomeffektiva process för framställning av volatila fettsyror.

Ett av kolen i aldehyden och korresponderande VFA kommer från kolmonoxiden i syntesgasen vilken adderas katalytiskt över dubbelbindningen i alkenen och bildar aldehyd-intermediatet som sedan oxideras katalytiskt i närvaro av syrgas till slutprodukten. Beroende på alkenens struktur kan även helt andra korta karboxylsyror produceras inklusive sådana som normalt inte kan erhållas genom AAD-processer. Sammantaget innebär detta att processen i **Figur B1:2** erbjuder en möjlighet till produktion av helt biogena VFAs i befintlig industriell utrustning och infrastruktur under förutsättning att även alkenerna tillverkats från biogena kolkällor. Att utreda vilken väg som är mest effektiv kostnadsmissigt och i övrigt för framställning av helt biogena VFAs skulle vara bra men denna delrapport bidrar p g a projektets scope¹¹ med resonemang och enkla beräkningar kring VFAs framställda med AAD-processer. En övergång till användning av en AAD-process⁴ för framställning av valda VFAs i stället för via processen i **Figur B1:2** bedöms övergripande bl a innebära följande:

- En AAD-process producerar samtliga tre VFAs propionsyra, smörsyra och valeriansyra som Perstorp AB idag producerar var och en för sig med processen i **Figur B1:2**, samtidigt som en blandning med både varandra och med andra syror och ämnen. I händelse av tillämpning av AAD industriellt så kommer de enskilda VFAs behöva separeras ut från en sammansättningsmässigt batchvis eventuellt varierande och relativt komplex vattenlösning och renas till önskad renhet mot specifikationskrav som beror av

⁸ Perstorp AB producerar propionsyra, smörsyra och valeriansyra i årsvolymer på minst 10 Kton vardera enl Katarina Persson, Global Technology Manager på Perstorp AB.

⁹ a) Weissemel K, Arpe H.-J. Editors. In *Industrial Organic Chemistry*. 4th ed, chapter 2 *Basic Products of Industrial Syntheses*, (Weinheim: Wiley-VCH), **2003**, <https://doi.org/10.1002/9783527619191.ch2>, och I b) Pryde EM. *Carboxylic acids (economic aspects)*, In *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology* **1978**, Chapter 41, pp 853–859, John Wiley and Sons, New York. c) Katarina Persson, Global Technology Manager på Perstorp AB, har i dialog med detta project bekräftat att Oxo-processen används för produktion av VFAs och att processen också kan användas för produktion av samma produkt med högt innehåll av biogent kol.

¹⁰ Biometan som källa till biogen syntesgas är föremål för pågående projekt i full skala där Perstorp AB är en av huvudintressenterna. För en intressant rapport som diskuterar bl a detta, se Niklas Berglin och Anna von Schenck, rapport ”Områdesanalys: Biobaserad kemiindustri”, **2023**, BioInnovation, tillgänglig via länk här: [omradesanalys-biobaserad-kemiindustri.pdf](https://www.biobased-chemistry.se/omradesanalys-biobaserad-kemiindustri.pdf).

¹¹ För en beskrivning av det projekt inom vilket detta arbete bedrivits, se forskningsplanen för projektet ”Biogas och högvärdiga insatsråvaror från jordbruksrestströmmar i Västra Götalandsregionen”, finansierat inom Vinnväxt Klimatledande Processindustri. Projektet pågår mellan 2024-05-30 och 2025-02-28.

användningsområden. Tekniker som föreslås användas för separation diskuteras längre ner under *Resultat och diskussion*.

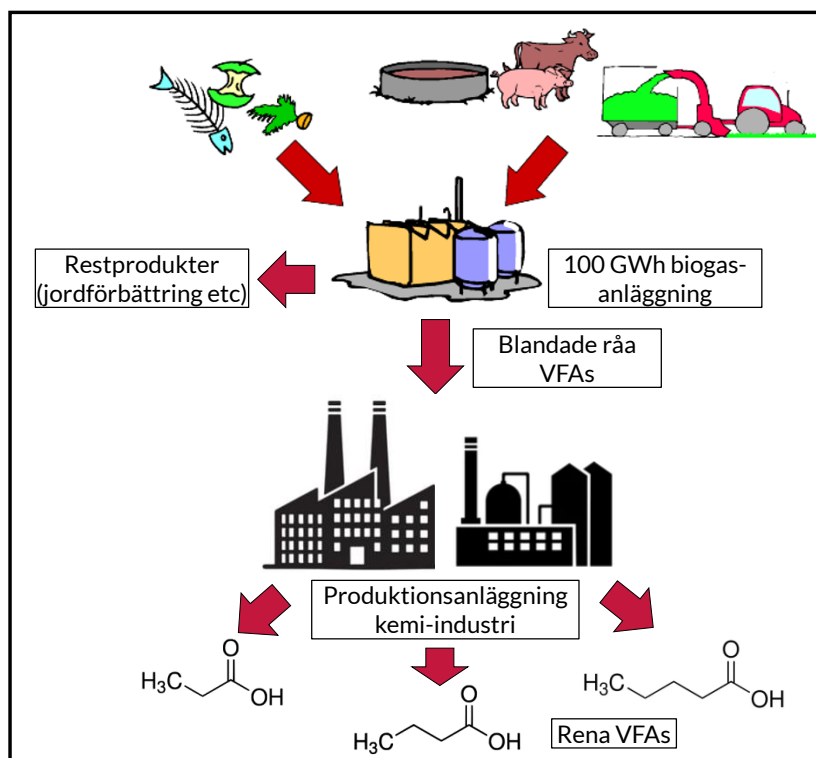
- En central fråga som diskuteras mer i detalj nedan under *Resultat och diskussion* handlar om vilken process som mest kostnadseffektivt kan separera ut blandade VFAs från den relativt komplexa vattenlösning de befinner sig i efter AAD-processen. Efter en fokuserad litteraturstudie har en extraktiv process^{4c,12} med speciella lågtoxiska och inte speciellt brandfarliga lösningsmedel valts ut som bas för att räkna på preliminära kostnader för att bygga en anläggning i matchande skala som en integrerad del av den modifierade 100 GWh biogas-anläggning som illustreras i **Error! Reference source not found.** 1. Exempel på allmänna kriterier för urvalet gällande en extraktiv isoleringsprocess för isolering av blandade VFAs är som följer:
 - Extraktionsprocessen inkl lösningsmedelsåtervinning genom ex vis destillation måste gå att utföra kontinuerligt d v s inte i batch mode.
 - Hög selektivitet vid separering av VFA:er, med en hög eller mycket hög separationsfaktor d v s lösningsmedlet som används måste vara i princip olösligt i vatten inom praktiskt användbara temperaturintervall, och samtidigt ha en gynnsam fördelningskoefficient för VFAs att lösas in i den organiska lösningsmedelsfasen och ge en distinkt fasgräns.
 - Lösningsmedlet/-medlen ska vara kostnadseffektiva och tillåta nära kvantitativ återvinning att återföras in i processen.
 - Lösningsmedlet/-medlen måste vara icke-toxiska för mikroorganismer och uppvisa stabilitet mot andra näringsämnen och komponenter som finns i råprodukten från AAD-processen.
 - Lösningsmedlet/-medlen ska förstås vara kostnadseffektivt möjliga att separera från själva de VFAs man är intresserad av att producera.
 - Processen som beskrivs i referens 12a ser ut att uppfylla kriterierna ovan. En schematisk beskrivning av processen som kombinerar extraktion med destillation inklusive lösningsmedelsseparation från VFAs och -återvinning samt recirkulation av lösningsmedel in i extraktionsstegen återfinns i Figure 3 i artikeln samt nedan i **Figur B1:5**.
- Det antas preliminärt i denna rapport att den modifierade 100 GWh biogasanläggningen i **Figur B1:4** producerar råa blandade VFA:s som sedan transporteras till kemiindustrin för separation och rening, schematiskt illustrerat i **Figur B1:3** och i **Figur B1:4** nedan. Vidare arbete utanför detta förstudieprojekt krävs förstås för att utveckla en optimerad och validerad produktionsprocess.
 - Denna rapport tar inte hänsyn till huruvida kemiföretagen kan använda redan befintlig separations- och reningsutrustning för ex vis upprening av VFAs genom vidare extraktion och/eller fraktionerad destillation eller om investeringsbehov uppstår som följd av en tänkt användning av AAD-processer för produktion av rena varianter av ex vis propionsyra, smörsyra och valeriansyra.
 - Övriga antaganden kring produktionen är att den körs 300-320 dygn per år dygnet runt.

¹² a) Woo, H. C., Kim, Y. H. *Biotechnol. Biofuels* **2019**, *12*, 92, <https://doi.org/10.1186/s13068-019-1433-8>. Ytterligare en variant med lösningsmedelsextraktion i kombination med andra tekniker redovisas i b) Jänisch, T. *et al. Separation and Purification Technology* **2019**, *223*, 264-273, <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2019.04.066>.

- Den råa kvaliteten av blandade VFAs som levereras från den modifierade biogas-anläggningen till kemiindustrin kommer behöva analyseras batchvis i takten som batcherna anländer. Relativt enkla analysmetoder för haltning av VFAs i även komplexa blandningar finns rapporterade i litteraturen.¹³

Litteraturen rapporterar olika koncentrationer av VFAs i råprodukter från AAD-processer utgående från olika restströmmar som startmaterial, uttryckta i g/L där bulken av vätskan utgörs av vatten. Utbyten av VFAs uttrycks ofta i g/g VS där VS står för "Volatile Solids" och energi-utbyten uttrycks i %. I denna rapport har vi utgått från summerade data sammanställda i review-artikeln i referens 4 a) ovan samt laborativa data från studier utförda hos RISE kring produktion av blandade VFAs utgående från bl a brunjuice, en biprodukt från vallbaserad proteinproduktion.⁷ Detta har samlat resultat i de intervaller för ovan listade viktiga parametrar som anges i **Tabell B1:1** och dessa används sedan för att preliminärt beräkna vilka mängder av blandade resp rena enskilda VFAs som preliminärt skulle kunna produceras per angiven tidsenhet i en modifierad 100 GWh biogasanläggning (se under *Resultat och diskussion* nedan för uträkningar och resultat samt schematiskt illustrerat i **Figur B1:4** i vilken en relativt försiktig enskild siffra anges på 9,3 ton per dygn producerat av blandade VFAs för vidare transport till kemisk industri). Exempel på startmaterial som antas komma att användas som blandade råvaror för AAD beskrivs schematiskt i **Figur B1:4**. Mer djupgående analyser av den samlade litteraturen samt sannolikt även praktiska processoptimeringsförsök i lab- och pilotskala krävs för att karakterisera mer exakt vilka produktionskapaciteter som är nåbara från aktuella råvaror och det som redovisas här är som nämnt även ovan endast preliminära beräkningar och resultat.

¹³ Exempel på publicerade analysmetoder: a) Narkis, N.; Henfeld-Furic, S. *Water Research* **1978**, *12*, 437-446, [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(78\)90149-5](https://doi.org/10.1016/0043-1354(78)90149-5). b) Aramrueang, N. *et al. Fermentation* **2022**, *8*, 202; <https://doi.org/10.3390/fermentation8050202>.



Figur B1:3. Schematisk övergripande illustration av det scenario som bedömts i detta projekt där 100 GWh biogasanläggningar modifieras till att även producera VFAs, vilka i rå blandad form levereras till kemisk industri för rening.

Tabell B1:1. Utifrån data i litteraturen^{4,5,7} skattade intervaller avseende koncentrationer och utbyten av både blandade och enskilda VFAs från AAD-processer.

α	Typ av VFA i produktblandningen	Koncentrationsintervall för ej upparbetad råprodukt (g/L)	Utbytesintervaller (g/g VS)
1	Blandade VFAs med två till sex kolatomer	10 – 40	0,3 – 0,8
2	Ättiksyra	3 – 20	0,1 – 0,4
3	Propionsyra	1 – 12	0,03 – 0,2
4	Smörsyra	1 – 14	0,03 – 0,3
5	Valeriansyra	1 – 12	0,03 – 0,2

Resultat och diskussion

Kort beskrivning av den extraktiva processen för att separera ut VFAs enligt referens 12a

Vallet av processkoncept för separation av blandade VFAs från den vattenbaserade reaktionslösningen från en AAD-process har som sagt efter en genomgång av litteraturen inom området isolering av VFAs från olika fermenteringsprocesser, fallit på processen som beskrivs detaljerat i referens 12a och illustreras schematiskt i Figure 3 i samma

artikel samt i **Figur B1:5** nedan. Vi väljer att inte redogöra för hur processen går till i detalj här utan nedan följer en förenklad stegvis beskrivning.

- **Extraktion 1 (Figur B1:5, kallad EX I i artikeln referens 12a Figure 3):**
Reaktionsblandningen som innehåller blandade VFAs från AAD-processen extraheras först med nonylacetat (kokpunkt vid atmosfärstryck 212°C och har en fruktig doft), ett högkokande lösningsmedel som är relativt lipofilt (obefintlig vattenlöslighet) och som bäst löser de längre VFAs d v s de med fler än 3 kolatomer i kedjan. Nonylacetat är lågttoxisk¹⁴ och används bl a som tillsats i bl a kosmetika och konsumentprodukter. VFAs med fyra kol eller mer hamnar då kvantitativt i nonylacetatfasen medan ättiksyra och propionsyra fördelas mellan nonylacetatfasen och vattenfasen. Extraktionen görs vid omgivande temperatur eller vid runt 20°C. De VFAs som löst sig i nonylacetatfasen separeras sedan från detta lösningsmedel genom fraktionerad destillation i två steg och lösningsmedlet återförs kontinuerligt till nästa varv av processen. **Produkt 1 (Figur B1:5 kallad Product I i artikeln referens 12a Figure 3)**, erhållen genom destillation, består av en blandning av ättiksyra, propionsyra, smörsyra, valeriansyra och kapronsyra.
- **Extraktion 2 (Figur B1:5 kallad EX II i artikeln referens 12a, Figure 3 i artikeln):**
Andelen av de kortare VFAs (ättiksyra och propionsyra) som löst sig i vattenfasen under Extraktion 1 ovan extraheras med det mer polära och något mer vattenlösliga samt mer lågkokande lösningsmedlet n-hexylacetat.¹⁵ Merparten av ättiksyran och propionsyran hamnar då i hexylacetat-fasen och separeras sedan från lösningsmedlet genom fraktionerad destillation till **Produkt 2 (Figur B1:5, kallad Product II i artikeln referens 12a Figure 3)**, vilken består av ättiksyra och propionsyra blandat med en aning hexylacetat kvar i.
 - Vattenfasen från **Extraktion 2** är tänkt att återföras som vatten till den samlade biogas- och VFA-framställningsprocessen som illustreras i **Figur B1:4**.
 - n-Hexylacetat recirkuleras kontinuerligt från destillationsstegen till Extraktion 2.
 - Den samlade förlusten av lösningsmedel från processen ligger på ca 3% av vikten produktblandningar **Produkt 1** och **Produkt 2**, och uppstår genom förlusten av n-hexylacetat till vattenfasen från **Extraktion 2**. Vidare utvecklingsarbete krävs för att exakt reda ut dels möjligheterna att helt undvika lösningsmedelsförluster och/eller ifall den lilla andel hexylacetat som förloras till vattenfasen från **Extraktion 2** ovan överlever biogasprocessen och därmed återförs till vad som senare blir **Extraktion 1** i ett senare varv.
- **Produkterna 1 och 2** fraktas till kemisk industri för vidare separation till enskilda rena VFAs enl den schematiska illustrationen i **Figur B1:3**.

Volymer som beräknat kan produceras per modifierad 100 GWh biogasanläggning

Utifrån samlade data från litteraturen m fl källor som gått igenom och som kort diskuteras ovan under *Förutsättningar och antaganden* samt data som redovisas i **Figur B1:4** och **Tabell B1:1**, så kan följande enkla beräkningar av möjliga produktionsvolymerna av blandade respektive renade enskilda VFAs göras: Mängder blandade VFAs som erhålls från råprodukt från AAD genom lösningsmedelsextraktion

¹⁴ För information kring nonylacetat andra estrars toxikologiska egenskaper, se ex vis i Bickers, D.R. *et al. Regulatory Toxicology and Pharmacology* **2003**, 37, 218–273, [https://doi.org/10.1016/S0273-2300\(03\)00003-5](https://doi.org/10.1016/S0273-2300(03)00003-5).

¹⁵ n-Hexylacetat har en kokpunkt vid atmosfärstryck på 171,5°C och är en kemikalie och lösningsmedel med en doft av päron som används i bl a kosmetika-industrin och som finns naturligt i en mängd olika frukter och bär, i öl och i vin m fl livsmedel, se bl a i Api, A.M. *et al. Food and Chemical Toxicology* **2018**, 118, S103–S113, <https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.06.043>.

m fl enhetsoperationer enl proceduren i referens 12a per dygn och per år per modifierad 100 GWh biogasanläggning (**Figur B1:4**):

- 0,3 – 0,8 g/g VS x 25 ton VS per dygn råvara in => 8 – 20 ton blandade VFAs ut per dygn där riktvärdet baserat på experiment utförda på bl a brunjuice⁷ ger en realistisk enskild siffra om 10 ton blandade VFAs ut per dygn. Detta ger upp till ca 2,6 – 6,4 Kton blandade VFAs ut per år från anläggningen där en bedömt realistisk enskild siffra anges till 3,2 Kton per år.
 - **Produktionsvolym propionsyra:** Baserat på råvarumängder och data i bl a **Tabell B1:1** och **Figur B1:4** beräknas propionsyra-mängden som skulle gå att producera till ca 0,8 – 4 ton per dygn eller 0,26 – 1,3 Kton per år. En bedömt realistisk enskild siffra hamnar på 2 ton per dygn eller 0,64 Kton per år.
 - **Produktionsvolym smörsyra:** Motsvarande kalkyl som för propionsyra ovan ger att det skulle gå att producera till ca 0,8 – 6 ton per dygn eller 0,26 – 1,9 Kton per år. En bedömt realistisk enskild siffra hamnar på 3 ton per dygn eller 0,96 Kton per år.
 - **Produktionsvolym valeriansyra:** Motsvarande kalkyl som för propionsyra ovan ger att det skulle gå att producera till ca 0,8 – 4 ton per dygn eller 0,26 – 1,3 Kton per år. En bedömt realistisk enskild siffra hamnar på 2 ton per dygn eller 0,64 Kton per år.
 - **Biprodukter:** Det bedöms utifrån normala sammansättningar för AAD-produkter rimligt att biprodukterna i det här fallet handlar om ättiksyra, kapronsyra (**Figur B1:1**) samt möjligen även grenade VFAs i låga halter som iso-valeriansyra men också en del icke relaterade lipofila föroreningar från AAD-processen. Mängden biprodukter som kemiindustrin då konfronteras med ifall de ska försöka rena upp ytterligare och sälja enskilda molekyler från eller inte utgående från beräkningarna ovan landa på minst 1 – 2 Kton nettovikt per år per modifierad 100 GWh biogasanläggning.

Antal 100 GWh biogasanläggningar som skulle behöva modifieras

För att nå årsproduktionsvolymerna om 10 Kton vardera för de utvalda relevanta VFAs propionsyra, smörsyra och valeriansyra (**Figur B1:1**), så skulle det baserat på de siffror som räknats fram ovan krävas ca 6 - 39 modifierade 100 GWh biogasanläggningar där en bedömt realistisk enskild siffra beräknas till minst 16 st. Detta antal skulle innebära en möjlighet att årligen producera ca 10 Kton av vardera propionsyra och valeriansyra samt ca 15 Kton smörsyra med en AAD-process, med reservation för eventuella förluster av respektive VFA i den uppreningsprocess som skulle vara nödvändig att bedriva hos kemiindustrin för att nå rena säljbara kvaliteter av resp VFA. Utöver dessa produkter skulle kemiindustrin som utför reningen behöva hantera minst 16 – 32 Kton biprodukter ur vilka ättiksyra och kapronsyra sannolikt kan separeras ut i relevanta mängder och renas som möjliga säljbara produkter utöver de tre som listas ovan.

Preliminära investeringsbehov och andra kostnader per modifierad 100 GWh biogasanläggning

Referens 12a redovisar en del beräkningar kring kapitalkostnader (CAPEX) och operationella kostnader (OPEX) vilka här använts för att beräkna preliminära ungefärliga kostnader för isolering av blandade VFAs genom lösningsmedelsextraktion med valda ”skräddarsydda” lösningsmedel vars egenskaper uppfyller de kriterier som listas ovan under *Förutsättningar och antaganden*. Kostnader som artikeln tar upp för produktionsskalan ca 2,3 ton per dygn av blandade VFAs ut från en anläggning är totalt (CAPEX plus OPEX) 0,66 - 0,88 USD/kg eller med dollarkursen för 2025-02-11 på 10,93 SEK/USD 7,21 – 9,62 SEK/kg. OPEX (beräknat till 60 - 80% av den totala produktionskostnaden eller 0,53 USD/kg vilket motsvarar 5,80 SEK/kg blandade VFAs ut exklusive personalkostnader) antas sedan 2019 då artikeln i referens 12a publicerades

ha ökat med den allmänna inflationen¹⁶ om ca 26% under denna period, vilket ger en justering av beräknad OPEX utan personal- och underhållskostnader till 7,30 SEK/kg blandade VFAs ut från anläggningen. Sedan tillkommer kostnader förknippade med delfinansiering av de biomassor som används för framställning av VFAs enligt följande antaganden:

- Minskad biogasproduktion på grund av VFA-framställning beräknas till nivån 17,5%.
- Produktionskostnad för rågas = 86 öre/kWh (se **Tabell B1:2** nedan¹⁷).
- Råvarukostnad har beräknats till ca 37% av årliga kostnaden i **Tabell B1:2** nedan.

Tabell B1:2. Produktionskostnad för rå biogas utan stöd och med gödselgasstöd (40 öre/kWh). Vidare visas årliga kostnader och dess uppdelning.

	Produktionskostnad öre/kWh rågas		Kapital %	Arbete %	Under- håll %	Energi %	Råvara %	Trans- port %	Årlig kostnad M kr/år
	exkl. stöd	inkl. göd- selgasstöd							
Ref	86 ^a	79	24 ^a	6 ^a	7 ^a	14 ^a	37 ^a	12 ^a	136,3

^aFördelning av kostnaderna enligt Olsson m. fl.⁷ för referenssystemet illustrerat i **Figur B1:4**. Det ska noteras att referenssystemet också producerar proteinfoder liksom har en annan avsättning för delar av den fasta fasen som genereras vid rötrestseparation.

Sammantaget innebär data ovan ökad OPEX om ca $136,3 * 17,5% * (37%) = 5,6$ Mkr/år eller ca 1,75 SEK/kg producerade blandade VFAs ut från anläggningen i **Figur B1:4**. Den samlade OPEX beräknas därmed till 7,30 SEK/kg + 1,75 SEK/kg = ca 9,05 SEK/kg blandade VFAs ut från anläggningen i **Figur B1:4**.

När det gäller CAPEX så beräknas kostnaden för själva utrustningen som behövs för att köra separationsprocessen i **Figur B1:5** (se i referens 12a samt supplementary information till samma artikel för information, data och en schematisk illustration av nödvändig utrustning, vilken består av ex vis extraktionskolonner, destillationskolonner, värmepumpar etc) till ca tre gånger de utrustningskostnader som redovisas i referens 12a baserat dels på en skalningsfaktor på kapacitetsskillnaden upphöjt till 0,6 = $(4,3 \times \text{produktionskapaciteten})^{0,6}$ avrundat uppåt till 3 x kapitalkostnaden i referens 12a plus inflation enl ovan, vilket ger $3,8 \times 1,26 \text{ MUSD} = 4,8 \text{ MUSD}$ eller 53 MSEK i kapitalkostnader per modifierad 100 GWh biogasanläggning med dagens dollarkurs (datum 2025-02-11). Med en avskrivningstid på 15 år och en diskonteringsränta på 5% blir det ytterligare 21,2 MSEK att lägga till i kostnader över 15 år eller totalt 74 MSEK i kapitalkostnader över 15 år vilket ger 1,55 SEK/kg i kapitalkostnader för att producera blandade VFAs baserat på 3,2 Kton/år i produktionsvolym. Beräknad total produktionskostnad för blandade VFA:er ut blir då ca $9,05 + 1,55 = \text{ca } 10,60$ SEK/kg exklusive personal- och underhållskostnader, vilket beroende på vinstkrav och kostnader för nedströms rening till enskilda rena VFAs att utföras av kemiindustrin, sannolikt gör att det krävs en grön premie för att nå lönsamhet i relation till de redovisade⁶ marknadspriser på runt 11 – 23 SEK/kg plus för dagens fossila varianter av VFAs med tre kolatomer och uppåt som redovisas i **Figur B1:1** ovan.

¹⁶ Ekonomifaktas allmänna inflationsberäkningsfunktion på hemsidan har använts för att beräkna prisökningen under perioden 2019-2024, se [Räkna på inflationen](#).

¹⁷ **Tabell B1:2** utgör en del av Tabell 21 i huvudrapporten för projektet "Biogas och högvärdiga insatsråvaror från jordbruksrestströmmar i Västra Götalandsregionen", avsnitt 5.1.

Reningstekniker som sannolikt kommer behövas hos den kemiska industrin nedströms

Olika reningstekniker har använts för rening av VFAs dock hittills mest med fokuset att rena fram blandade kvaliteter.^{4,12b} Slutrening av enskilda VFAs kommer sannolikt ske genom fraktionerad destillation för att nå rätt kvaliteter som stämmer överens med specifikationskrav som beror av applikationsområden (ex vis valeriansyra används för vitt skilda områden i industrin från användning som intermediär till estrar för syntetiska smörjmedel och som startmaterial eller ingrediens för flavor and fragrance-industrin, råvara för produktion av aktiv substans i läkemedel, för produktion av jordbrukskemikalier eller som foderadditiv¹⁸ m fl användningsområden). Efter en fokuserad studie av diverse litteratur (bl a de väldigt bra artiklarna i referens 4) kombinerat med bedömningar baserat på egen erfarenhet från processutveckling mot industriell tillämpning, så är bedömningen att nedan listade reningstekniker efter processoptimering kan behöva användas, enskilt eller i kombination, för att rena upp blandade VFAs till rena enskilda VFAs. Något som också framgår klart från litteraturen är att vidare optimeringsarbete krävs för att designa optimala reningsprocesser för respektive VFA. Området är föremål för intensiv pågående forskning, bl a eftersom man ser potential för användning av blandade VFAs som en hållbar råvara för produktion av hållbart jetbränsle för flyget.⁵ Ett exempel på företag som utvecklar och säljer teknologi för produktion av rena former av VFAs är Dranco samt Afyren.¹⁹ Dranco har nyligen lanserat sin s k CAP-teknologi för kommersiellt bruk.²⁰ Teknologin inriktar sig mot produktion av främst långkedjiga VFAs som kapronsyra. Nedan listas reningstekniker som kan vara aktuella att använda framåt och sedan förs vidare resonemang kring behov av framtida utvecklingsarbete längre ner under *Framåtblick med rekommendationer kring vidare arbete*:

- Det kan visa sig möjligt att rena fram enskilda rena VFAs i den form de idag säljs genom fraktionerad destillation^{4c} direkt ifrån de blandade VFAs, producerade i en modifierad 100 GWh biogasanläggning enl. **Figur B1:4** respektive. Man kan dock behöva investera i ex vis destillationskolonner, tankar och övrig utrustning vilket förstås leder till kapitalkostnader. Kokpunktsskillnaderna mellan de olika aktuella enskilda VFAs är relativt gynnsamma (det skiljer minst 20°C mellan kokpunkterna för de olika VFAs: ättiksyra 118 °C; propionsyra 141 °C; smörsyra 164 °C; valeriansyra 185 °C; kapronsyra 205 °C).
- Membranseparation (elektrodialys).^{4c} Denna teknik är främst av värde för att rena bort andra substansklasser och separerar inte VFAs från varandra.
- Ytterligare extraktiv rening med eller utan pH-kontroll.^{4c} Även denna teknik är främst av värde för att rena bort andra substansklasser och separerar sannolikt inte VFAs fullt ut från varandra. Data i referens 12a visar att det går att separera de mer polära kortare VFAs ättiksyra och propionsyra från deras fetare analoger smörsyra, valeriansyra och kapronsyra, något som för de produkter som sedan ska tillverkas från VFAs är otillräckligt.
- Absorption med jonbytare eller andra stationärfaser.^{4c} Denna teknik är liksom elektrodialys främst av värde för att separera VFAs från andra substansklasser och

¹⁸ Perstorp marknadsför ex vis Gastrivix™ som innehåller bl a estrar av valeriansyra och smörsyra och som används som fodertillsats, se https://www.perstorp.com/en/products/gastrivix_avi.

¹⁹ Se [DRANCO nv](https://dranco.nv) och <https://afyren.com/en/our-products/>.

²⁰ Se [CAP: Carboxyl Acid Production | DRANCO nv](https://dranco.nv).

separerar inte VFAs från varandra. I övrigt se kommentar ovan om ytterligare extraktiv rening.

- Kristallisation av salter av VFAs.⁴⁶ Fraktionerad kristallisation bygger på skillnader i löslighet för salter av VFAs i olika lösningsmedel och kan användas för att separera VFAs både från andra substansklasser och från varandra.

Framåtblick med rekommendationer kring vidare arbete

Denna förstudie har inledningsvis undersökt förutsättningarna för att producera industriellt relevanta volymer av valda VFAs genom AAD-processer i södra Sverige. I förhållande till publikt tillgängliga uppgifter om marknadspriser⁶ ser det preliminärt ut att finnas viss potential för en kommersiellt lönsam verksamhet där VFA-produktion integreras i ett antal modifierade 100 GWh biogasanläggningar, schematiskt beskrivet i **Figur B1:4**, då det preliminärt också bedöms möjligt att få en viss grön premie för förnybara varianter av dagens helt eller delvis fossila VFAs. Kostnaderna för att rena upp enskilda VFAs från blandade, något som i denna rapport föreslås utföras av den kemiindustri som skulle köpa in blandade VFAs anrikade i ett antal olika modifierade 100 GWh biogasanläggningar, har inte beräknats i denna rapport, främst beroende på att färdig optimerad teknologi som startar från aktuella blandningar inte finns rapporterad i öppen litteratur och eventuellt behöver utvecklas och optimeras samt demonstreras innan uppskalning till full skala.

Följande punkter beskriver rekommenderat vidare arbete för att dels förstå potentialer och kostnader för produktion mer i detalj och dels förbereda för större utvecklingsprojekt mot demonstration av AAD-processer för industriell VFA-produktion:

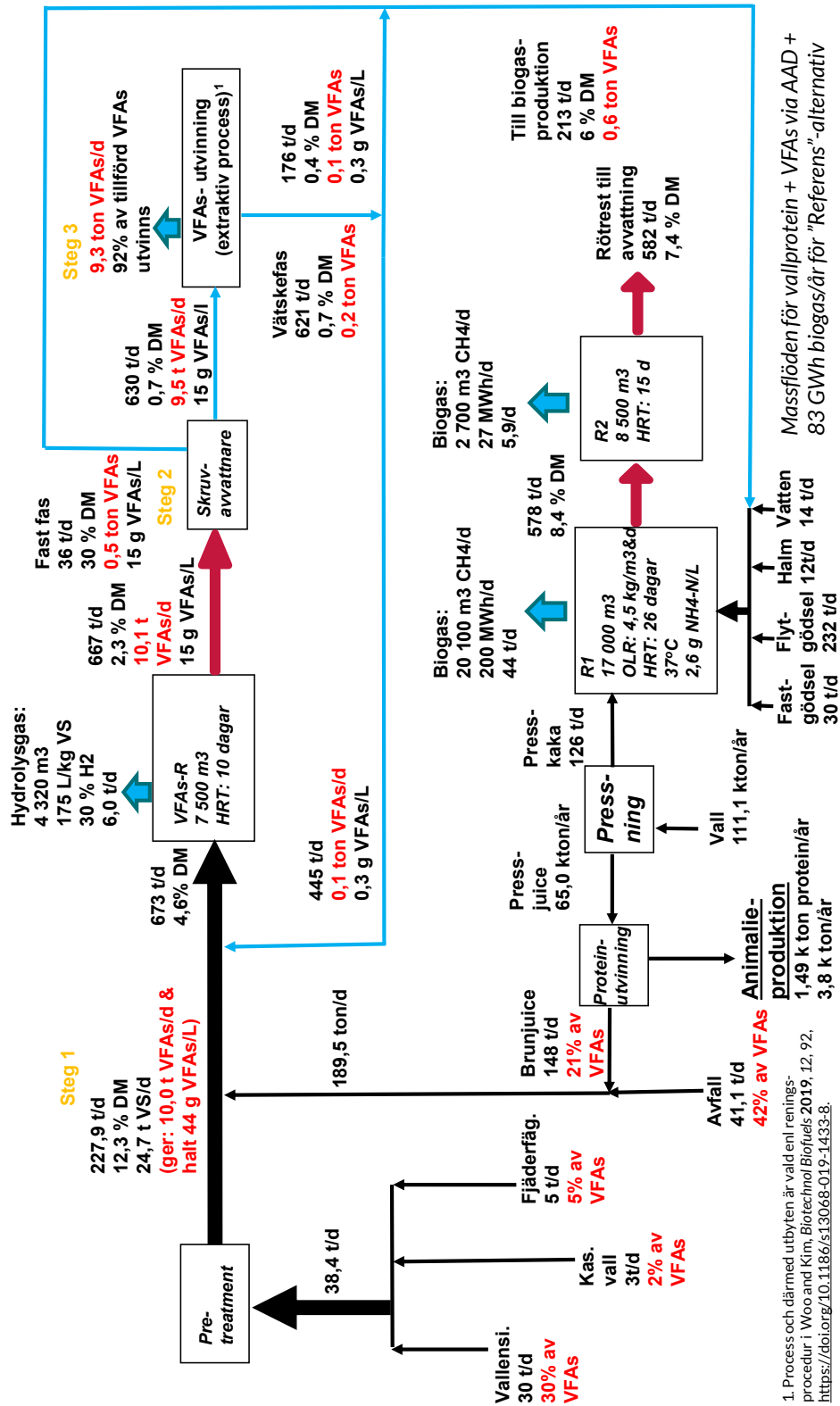
- En mer detaljerad jämförande teknoekonomisk och LCA-studie mellan att producera förnybara VFAs med den redan använda industriellt mogna processen i **Figur B1:2** jämfört med en (mer utvecklad) AAD-process framstår som ett tydligt behov. Detaljerade processimuleringar i Aspen av optimerade processvarianter bör utgöra grunden för sådana studier. En viktig bit i sammanhanget är att reda ut preliminära kostnader/priser och tillgänglighet för de förnybara alkener som krävs för att producera biobaserade och mer hållbara VFAs via processen i **Figur B1:2**.²¹ Om produktionen av de alkener som krävs för att producera fullt ut förnybara versioner av samma VFAs enligt metoden i **Figur B1:2** inte ser ut att ta fart internationellt och fortsätter att vara mycket begränsad,²¹ kommer man fortsatt endast kunna producera partiellt förnybara produkter som ex vis n-Butyraldehyde Pro 25²² som framställs genom användning av fossila alkener (propen) och förnybar syntesgas. AAD-processen blir då nödvändig för

²¹ En preliminär bedömning efter en del inledande undersökningar i öppen litteratur antyder att produktionen av bioeten, biopropen och andra lätta alkener från förnybara källor är väldigt begränsad, se ex vis i a) Dijkmans, T. *et al. Green Chem.*, **2013**, *15*, 3064-3076, <https://doi.org/10.1039/C3GC41097H>. I följande referens, som även listar intressanta produktionsvägar till biopropen, nämns att Braschems produktion av bioeten har en kapacitet på 2 Kton per år, se i b) Machado, P. D. *et al. Biofuels, Bioproducts and Biorefining* **2016**, *10*, 623, <https://doi.org/10.1002/bbb.1674>. Detta är en väldigt liten volym särskilt eftersom den globala årsproduktionen av eten är minst 225 Mton (<https://www.statista.com/statistics/1067372/global-ethylene-production-capacity/>). Perstorp AB skulle behöva köpa hela Braschems årsproduktion om man ens ska kunna producera endast en mindre andel av sin nuvarande produktion av propionsyra med en förnybar variant av processen som illustreras i **Figur B1:2**. För mer information om produktionsmetoder för lätta alkener från både fossila och förnybara råvaror, se i c) Chernyak, S. A. *et al. Chem. Soc. Rev.*, **2022**, *51*, 7994-8044, <https://doi.org/10.1039/D1CS01036K>.

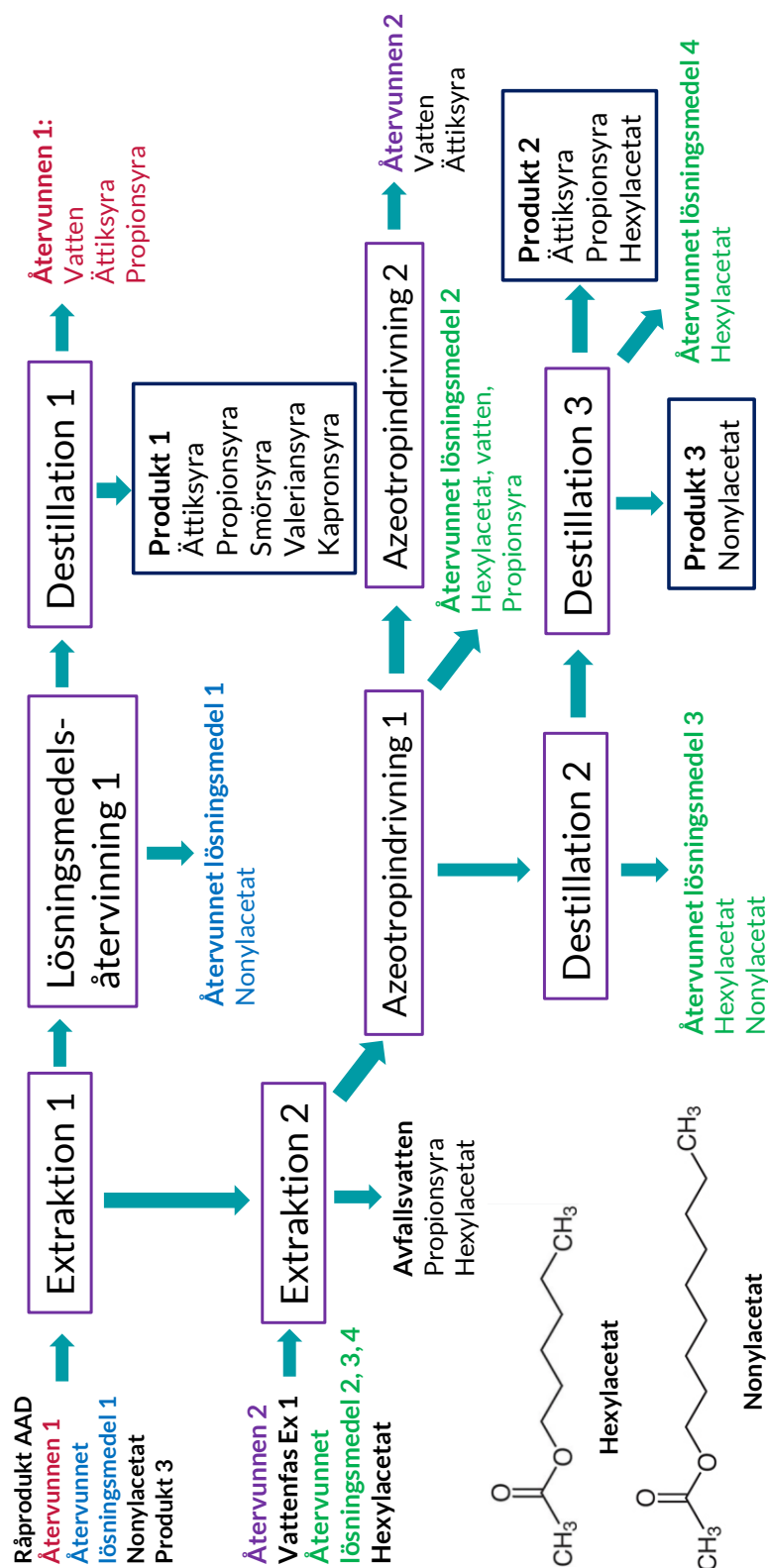
²² För information kring denna produkt, se [N-Butyraldehyde Pro 25 - Perstorp](#).

att nå fullt ut förnybara alternativ, dock förstås endast för de produkter som går att producera med denna senare typ av process.

- Om AAD-processen är kompetitiv under vissa förutsättningar krävs vidare utvecklingsarbete för processoptimering inkl reningssteg med demonstration i pilot-skala följt av uppskalning till full skala.
- Transport och logistik behöver ingå i utredningsarbetet.
- Möjligheter: Eventuella applikationer för blandade VFAs i kombinationsprodukter kan vara intressanta, men måste förstås uppfylla samma högt ställda renhetskrav avseende föroreningar rent allmänt vilket kan göra att den inbördes separationen av varje enskild VFA måste utföras i alla fall för att säkerställa att sätta specifikationskrav avseende renhet och halt av respektive enskild VFA faktiskt nås.



Figur B1:4. Schematisk illustration av ett scenario där en 100 GWh biogasanläggningar konstruerats så att den både producerar biometan, protein från vall för djurfoder och blandade volatila fettsyror utgående från massbalanser beräknade i referens 7.



1. Woo, H. C., Kim, Y. H. *Biotechnol. Biofuels* 2019, 12, 92, <https://doi.org/10.1186/s13068-019-1433-8>.

Figur B1:5. Schematisk illustration av processen för separation av VFAs från råprodukt som beskrivs i referens 12a och Figure 3 i den senare referensen Bilaga 2. Massbalanser för 8 olika biogasalternativ.

Bilaga 2. Massbalanser för 8 olika biogasalternativ.

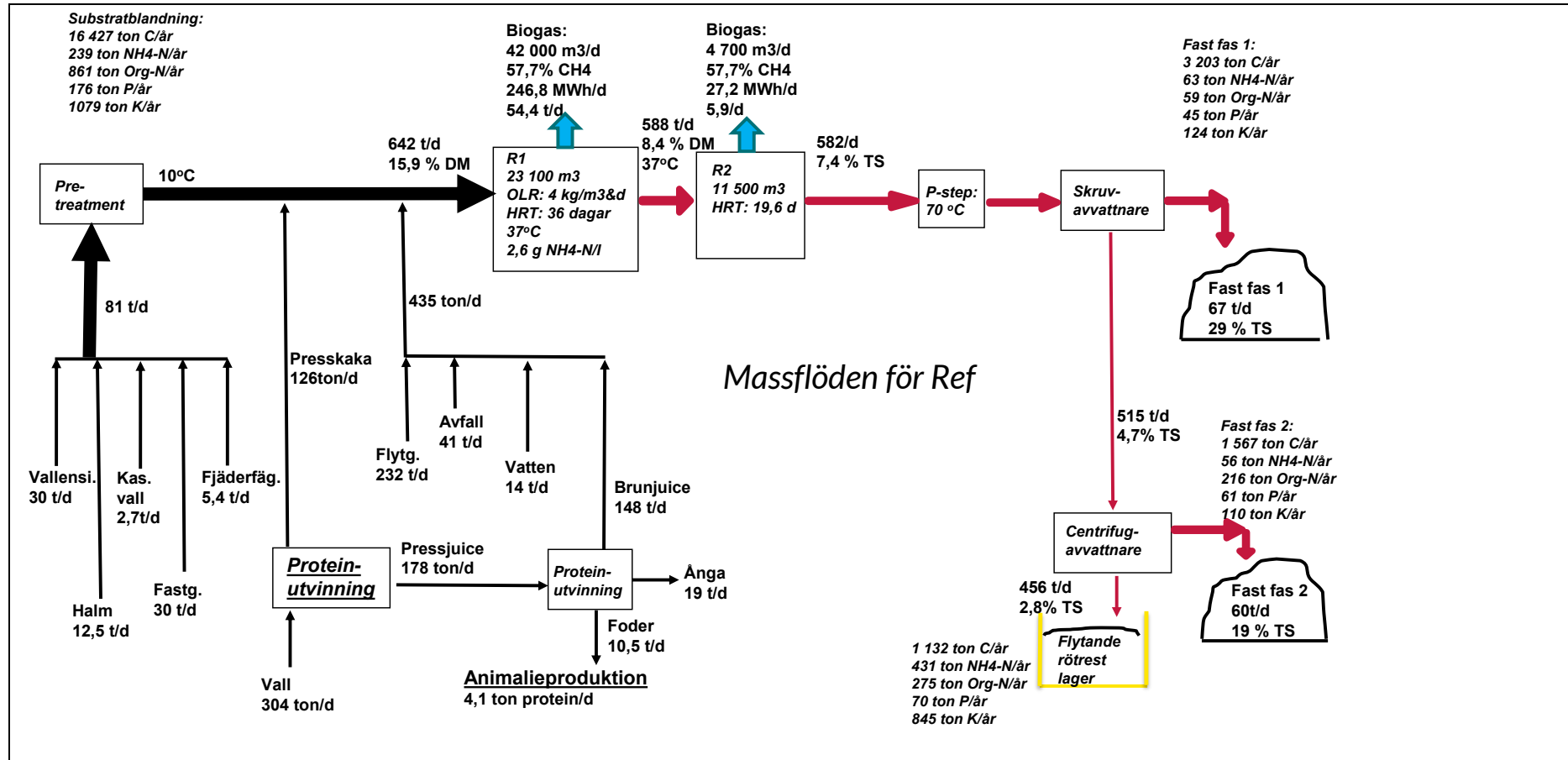


Bild B2:1. Massflöden för alternativ Ref

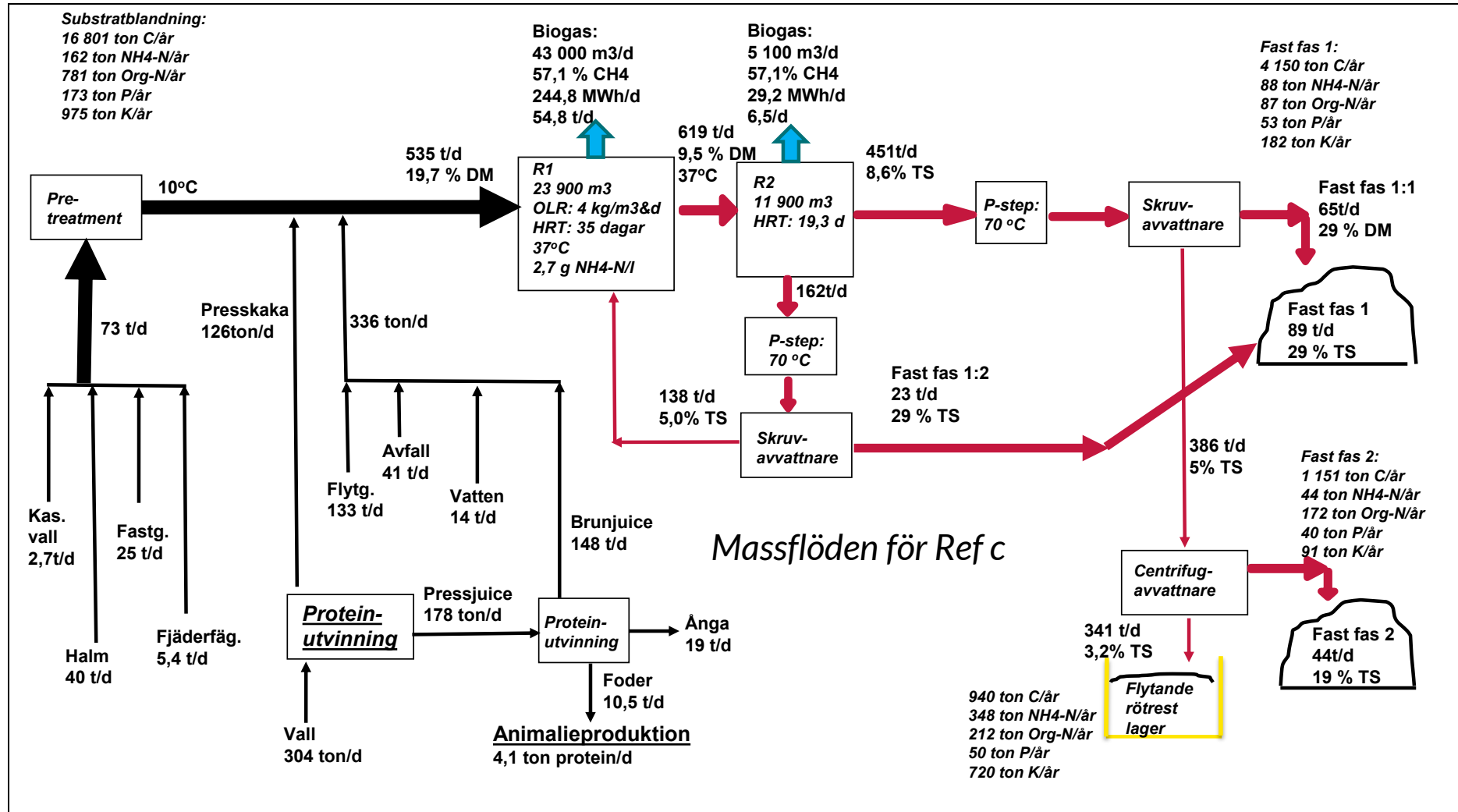


Bild B2:2. Massflöden för alternativ Ref c

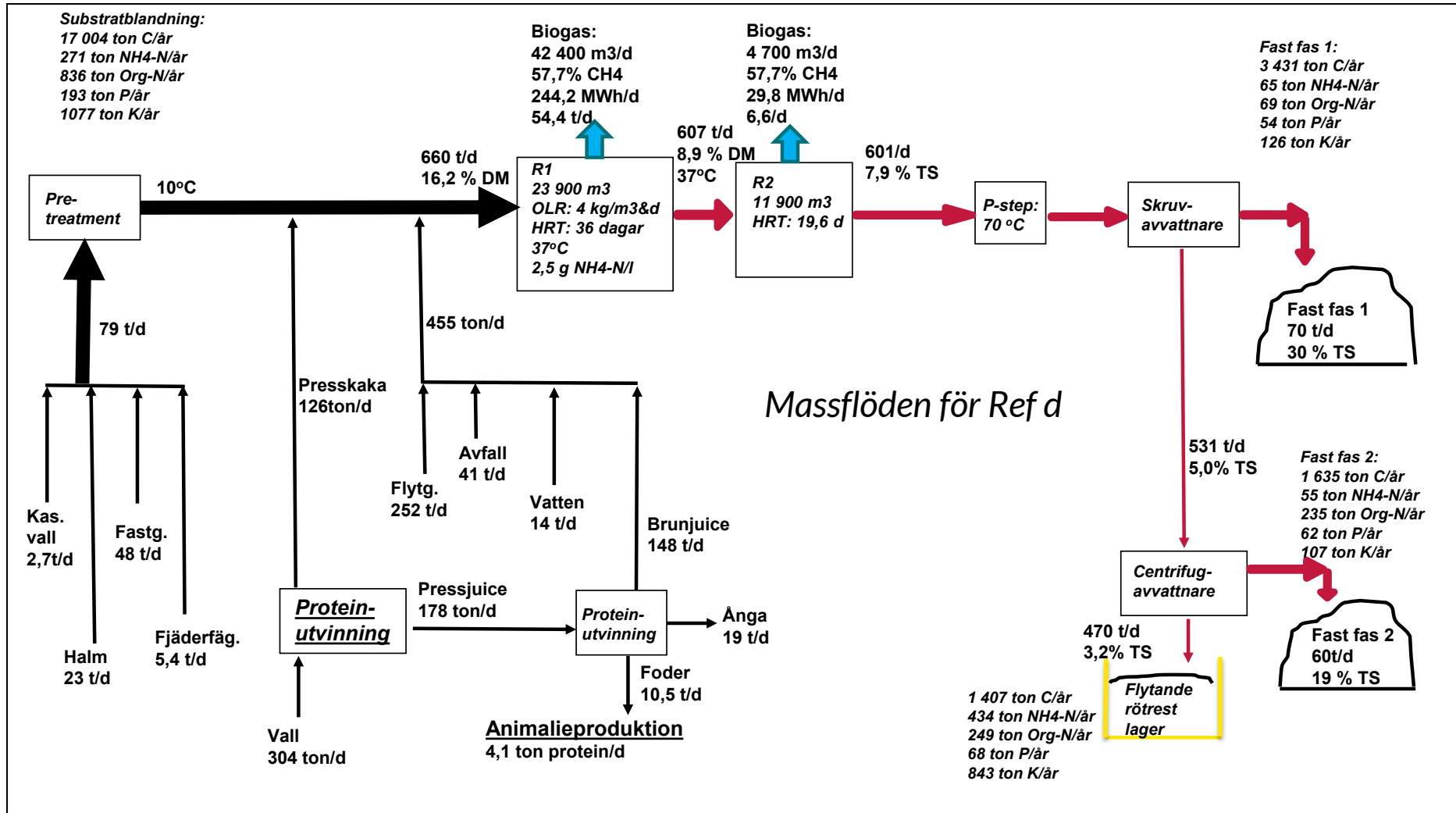


Bild B2:3. Massflöden för alternativ Ref d

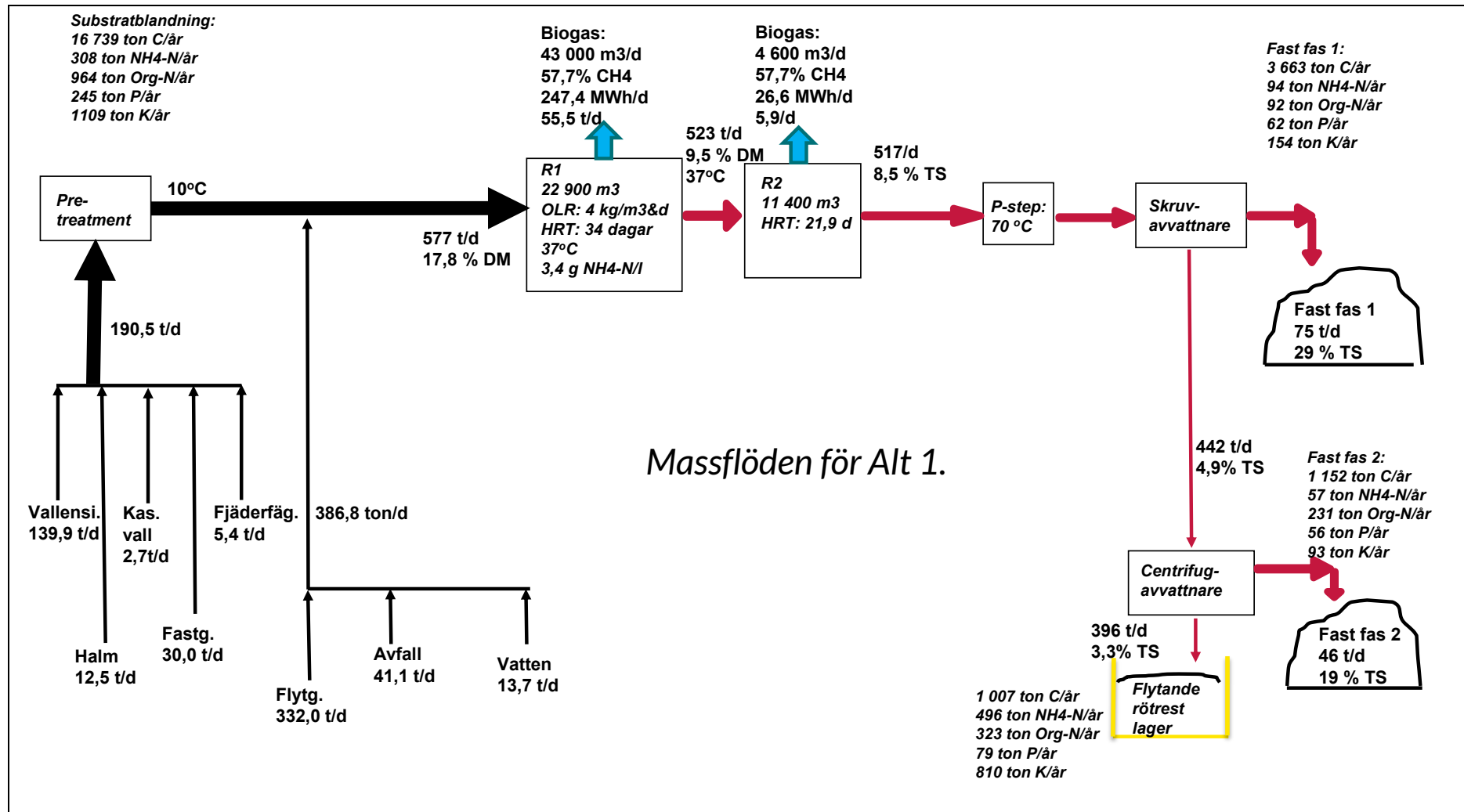


Bild B2:4. Massflöden för alternativ Alt 1

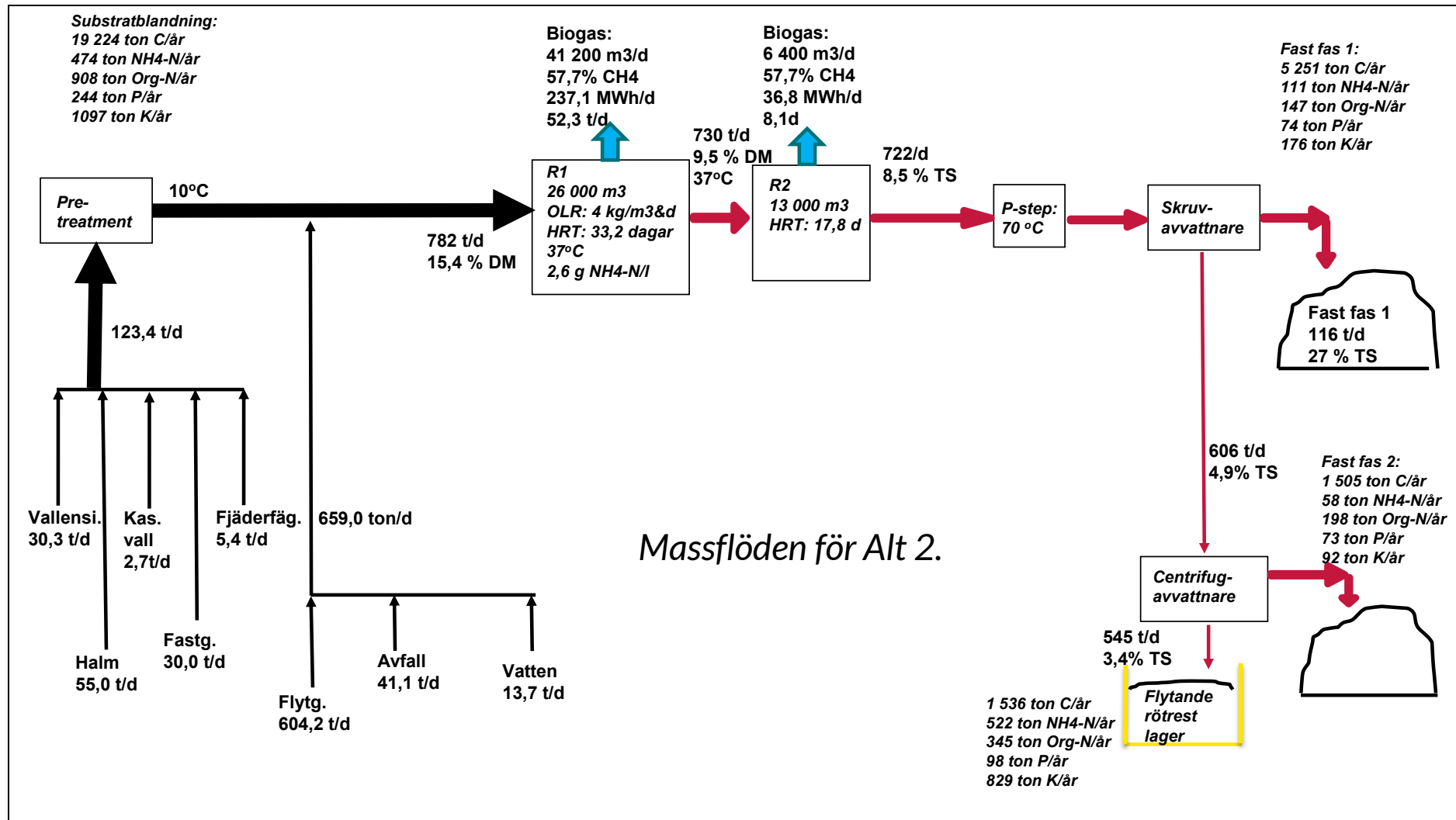


Bild B2:5. Massflöden för alternativ Alt 2

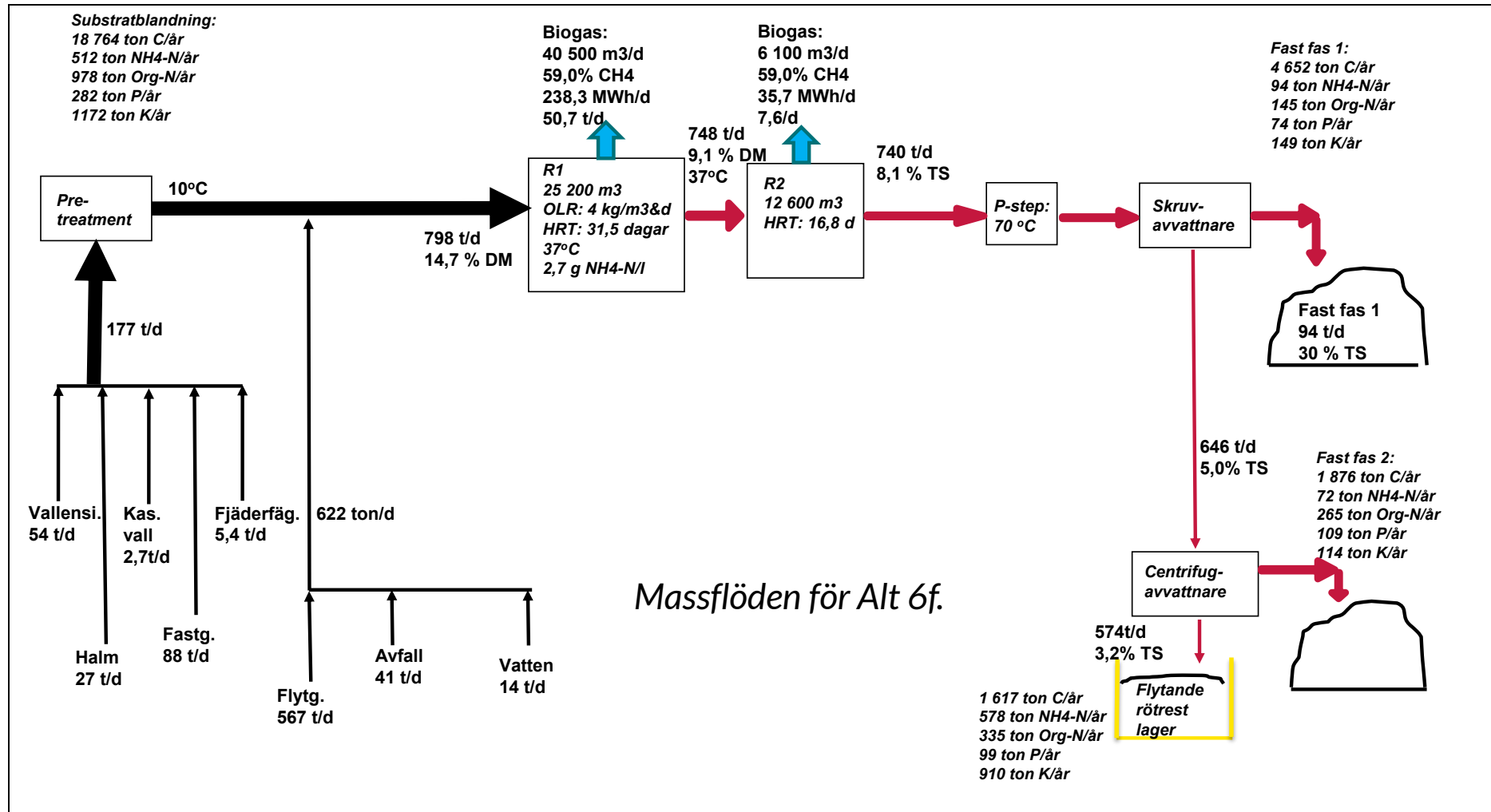


Bild B2:6. Massflöden för alternativ Alt 6f

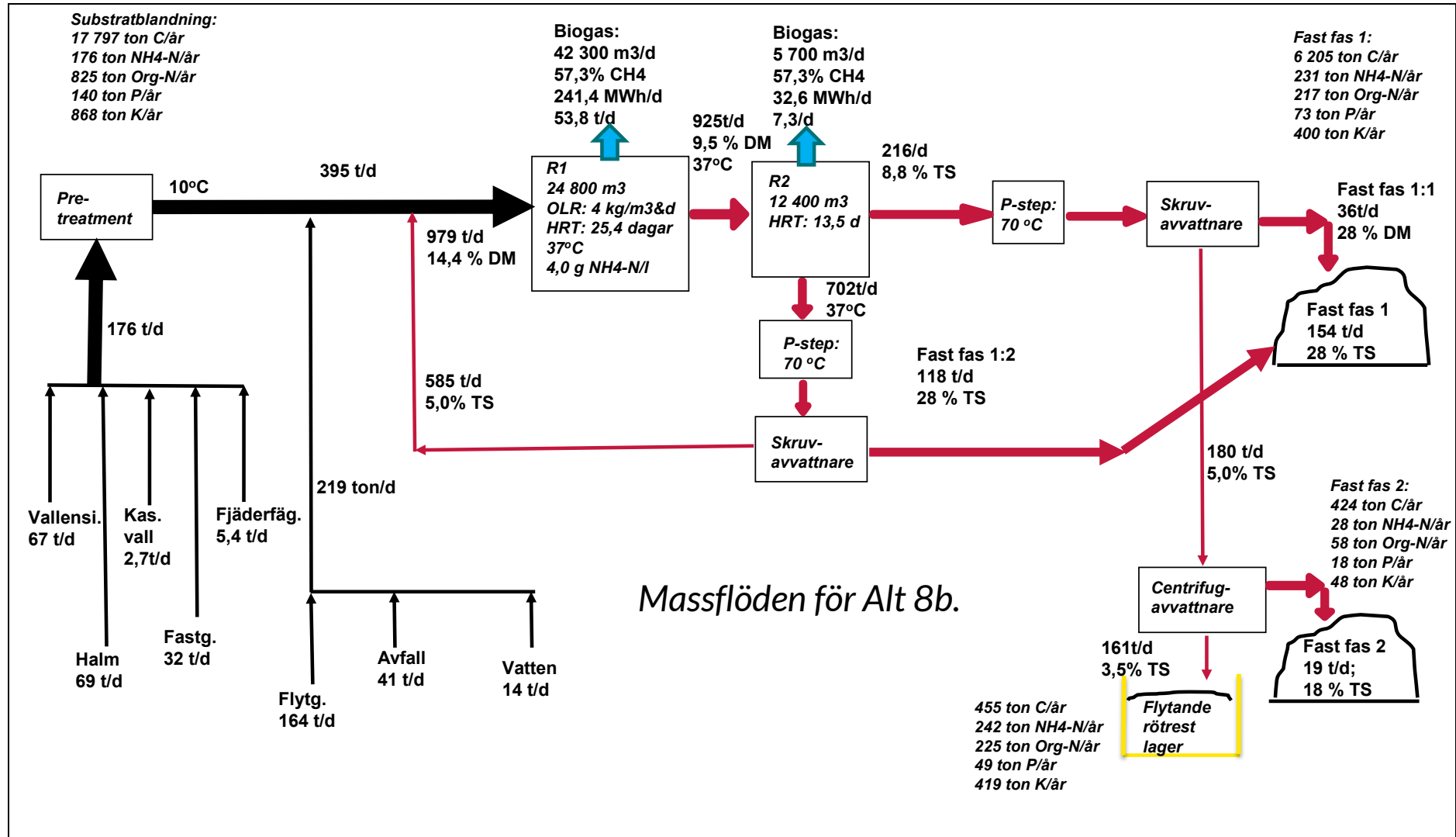
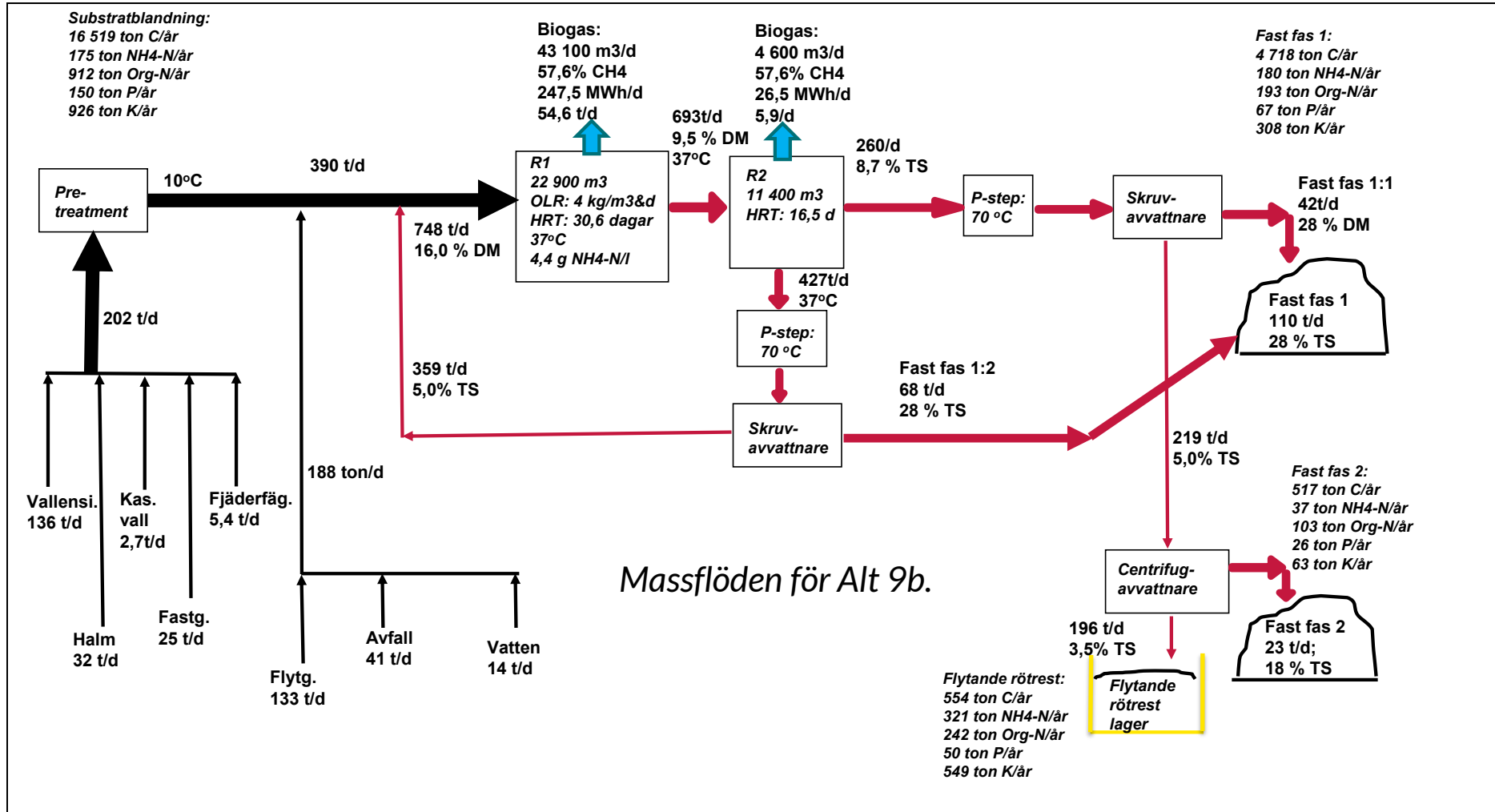


Bild B2:7. Massflöden för alternativ Alt 8b



Massflöden för Alt 9b.

Bild B2:8. Massflöden för alternativ Alt 9b

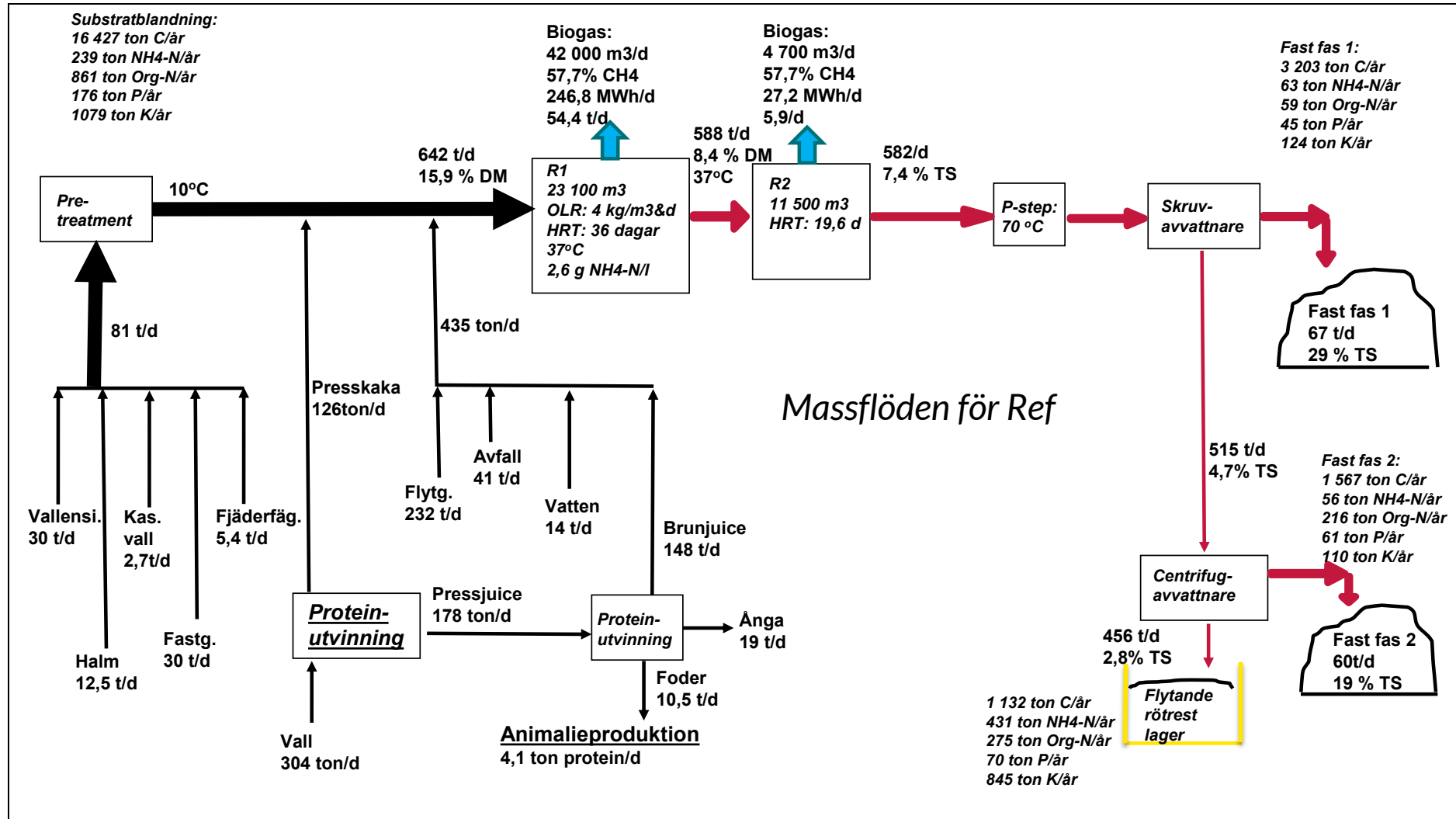


Bild B2:1. Massflöden för alternativ Ref

Through our international collaboration programmes with academia, industry, and the public sector, we ensure the competitiveness of the Swedish business community on an international level and contribute to a sustainable society. Our 2,800 employees support and promote all manner of innovative processes, and our roughly 100 testbeds and demonstration facilities are instrumental in developing the future-proofing of products, technologies, and services. RISE Research Institutes of Sweden is fully owned by the Swedish state.

I internationell samverkan med akademi, näringsliv och offentlig sektor bidrar vi till ett konkurrenskraftigt näringsliv och ett hållbart samhälle. RISE 2 800 medarbetare driver och stöder alla typer av innovationsprocesser. Vi erbjuder ett 100-tal test- och demonstrationsmiljöer för framtidssäkra produkter, tekniker och tjänster. RISE Research Institutes of Sweden ägs av svenska staten.



RISE Research Institutes of Sweden AB Box 857, 501 15 BORÅS Telefon: 010-516 50 00 E-post: info@ri.se , Internet: www.ri.se	RISE Rapport 2025:45 ISBN: 978-91-90036-32-7
---	---