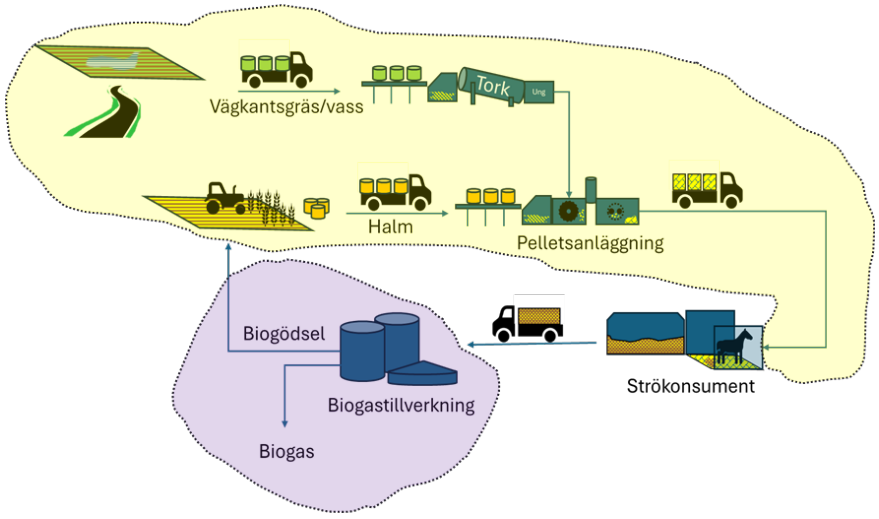
Biogasproduktion från pelleterad halm, vägkantsgräs och vass

Biogas production from pelletized straw, roadside grass and reeds



Rapportnummer: C10127
I samarbete med: Högskolan i Halmstad, HA Renewable Future, CIT Renergy och SLU
Författare: Emelie Persson, Sofia Klugman, Anders Hjort, Marika Olsson, IVL Svenska Miljöinstitutet
Martin Melin, Marie Mattsson, Anna Hansson, Niklas Karlsson, Högskolan i Halmstad
Henrik Andersson, HA Renewable Future
Fredrik Hildor, Pontus Bokinge, CIT Renergy
Sven-Erik Svensson, SLU

Ersätter C10109

Medel från: Energimyndigheten Bio+

ISBN: 978-91-7883-742-7

[Biogas, halm, vägkantsgräs, vass, strömedel, pelletering, BMP]

Sammanfattning

Efterfrågan på förnybar energi och fossilfri industriråvara har ökat på grund av den globala uppvärmningen och ansträngningar att lämna den fossila energin. Ett förnybart alternativ som intresset har ökat kring är biogas som kan produceras av organiska restprodukter och användas för till exempel el, värme eller uppgraderas till fordonsbränsle eller biometan för industriella applikationer.

Biogas produceras idag från avloppsslam, matavfall, gödsel och andra reströmmar i livsmedelssektorn. Röster hörs nu om att mer biogas behöver produceras och bland annat industri och sjöfart tillsammans med transportsektorn kan 2030 behöva så mycket som 10 TWh biogas. En ökad biogasproduktion förutsätter att mer organiskt material kan rötas i biogasanläggningar och då är frågan var dessa material ska komma ifrån?

En restprodukt i jordbruket som kan utgöra en viktig biomassa är halm som med förbehandling i form av hackning och pelletering kan utnyttjas. Också vägkantsgräs och vass kan samlas in och blandas upp med halm, pelleteras och användas för biogasproduktion. I projektet har olika värdekedjor kopplade till halm, vägkantsgräs och vass testats och utvärderats med hänsyn till biogaspotential, kostnader och eventuella målkonflikter. Dessutom har en SWOT-analys med intressenter genomförts för att bedöma starka och svaga sidor.

Stora mängder halm finns tillgängligt men förekomsten av pyralider i stråsäd, till exempel pyralidrester efter kemisk ogräsbekämpning, kan innebära en begränsning för användningen av halm till biogas då dessa påverkar biogödselns kvalitet som växtnäringskälla. Påverkan på markens innehåll av organiskt kol när halmen förs bort bedöms som liten under förutsättning att biogödsel återförs till åkern eller att en kompensation sker med odlingsåtgärder, tex mellangrödor, som bidrar till att bygga upp markens kollager.

Att skörda och ta tillvara vägkantsgräs kan vara positivt ur miljösynpunkt förutsatt att hänsyn tas till den biologiska mångfalden och att skräp och föroreningar samt invasiva arter inte sätter stopp för användningen. På samma sätt kan skörd av vass ha miljöfördelar då näring förs bort från strandängar, men skörden kan inte ske för tidigt på säsongen med hänsyn till djurlivet.

Resultaten visar en betydande biogaspotential för olika kombinationer av halm och vägkantsgräs samt för vass med en viss ökning av metanproduktionen efter pelletering. Även om försöken inte i samtliga fall visade på en ökad metanpotential genom pelleteringen, är en viktig identifierad aspekt med pelleteringen att underlätta att mekaniskt kunna ta emot och blanda in de stråbaserade substraten på en biogasanläggning som inte redan är utrustad med speciell utrustning för inmatning av torra stråformiga substrat.

Den tekno-ekonomiska analysen visar att pelletering är mycket kostsamt om torkning behövs som förbehandling. Utan torkning kan kombinerade värdekedjor stå sig kostnadsmässigt väl jämfört med enbart halm.

SWOT-analysen visar att affärsmöjligheter finns med dessa värdekedjor men att det finns hinder och begränsande faktorer som först bör undanröjas innan dessa alternativ kan bli lönsamma.

Summary in English

The demand for renewable energy and fossil-free industrial raw materials has increased due to global warming and efforts to abandon fossil energy. One renewable alternative that has attracted increasing interest is biogas, which can be produced from organic waste products and used for production of electricity and heat or upgraded to vehicle fuel or biomethane for industrial applications.

Biogas is currently produced from sewage sludge, food waste, manure and other residual streams in the food sector. There are voices advocating that more biogas needs to be produced and that industry and shipping, together with the transport sector, may need as much as 10 TWh of biogas by 2030. Increased biogas production requires that more organic material can be digested in biogas plants, and the question is where these materials will come from?

A residual product in agriculture that can constitute an important biomass substrate is straw, which can be utilized with pre-treatment by chopping and pelletizing. Roadside grass and reeds can also be collected and mixed with straw, pelleted and used for biogas production. In the project, different value chains linked to straw, roadside grass and reeds have been tested and evaluated regarding biogas potential, costs and possible conflicts of interest. In addition, a SWOT analysis with stakeholders has been carried out to assess strengths and weaknesses.

Large amounts of straw are available, but the presence of pyralids in cereals, for example pyralid residues after chemical weed control, may limit the use of straw for biogas as these affect the quality of the biofertilizer as a source of plant nutrients. The impact on the soil's organic carbon content when the straw is removed is assessed to be small, provided that the biofertilizer is returned to the field or that compensation is carried out with cultivation measures, such as catch crops, which contribute to building up the soil's carbon content.

Harvesting and utilizing roadside grass can be positive from an environmental point of view, provided that biodiversity is taken into account, and that litter, pollution and invasive species do not put a stop to its use. Similarly, harvesting reeds can have environmental benefits as nutrients are removed from waterside meadows, but harvesting cannot be done too early in the season with regard to wildlife. The results show a significant biogas potential for different combinations of straw and roadside grass and for reeds with a certain increase in methane production after pelleting. Although the trials did not in all cases show an

increased methane potential through pelleting, an important identified aspect of pelleting is that it facilitates the mechanical reception and mixing of straw-based substrates in a biogas plant that is not already equipped with special equipment for feeding dry straw-shaped substrates.

The techno-economic analysis shows that pelleting is very costly if drying is required as a pre-treatment. Without drying, combined value chains can be cost-effective compared to straw alone.

The SWOT analysis shows that business opportunities exist with these value chains, but that there are obstacles and limiting factors that must be removed before these alternatives can become profitable.

Populärvetenskaplig sammanfattning

Samhället har ett stort behov av energi och förbrukningen av fossila bränslen som kol och olja ger upphov till utsläpp av växthusgaser som är en starkt bidragande orsak till att klimatet förändras. För att minska klimatpåverkan och bli mer självförsörjande på energi finns ett ökat intresse i Sverige och bland övriga länder i Europa att använda mer biogas som är en förnybar energikälla.

Biogas framställs i en biologisk process som kallas rötning där matavfall, gödsel, avloppsslam och andra restprodukter bryts ned av mikroorganismer under syrefria förhållanden. Biogasen som bildas kan användas för att generera el och/eller värme. Om biogasen renas, från främst koldioxid, så får man ett bränsle som kan användas för att driva fordon. Till år 2030 uppskattas Sveriges behov av biogas till 10 terawattimmar (TWh), vilket är en stor ökning jämfört med dagens produktion på drygt 2 TWh.

För att säkerställa det ökade behovet behövs inte bara fler anläggningar som producerar biogas utan även mer organiskt material att mata dessa anläggningar med. Idag används främst gödsel från lantbrukets djur, avloppsslam och källsorterat matavfall, men vilka andra restprodukter skulle kunna användas? Det vi vill ta reda på i detta projekt är om spannmålshalm, vägkantsgräs och vass som hackas och pressas till pellets skulle kunna användas för att producera mer biogas. De frågor som vi vill ha svar på är hur mycket biogas materialen skulle kunna generera, vad det kostar att samla in, förbehandla och transportera till biogasanläggningen och om det orsakar några målkonflikter, dvs om det konkurrerar med någon annan användning.

För att svara på dessa frågor har forskarna i studien sammanställt den kunskap som finns sen tidigare genom att söka i litteraturen och diskutera med aktörer och experter som har koppling till biogassektorn. Dessutom förbehandlades olika blandningar av halm, vägkantsgräs och vass för att med hjälp av utrustning på ett laboratorium mäta mängden biogas som produceras vid rötning av de olika produkterna.

Studien kom fram till att det finns en hel del halm från spannmålsodling i Sverige som skulle kunna förbehandlas genom pelletering och då bidra med en betydande mängd biogas. Förutsättningen är att markens innehåll av organiskt kol säkerställs när halmen tas bort från åkern, dvs att den mull som skulle bildas av att halmen ligger kvar och förmultnar, tillförs marken på annat sätt för att bibehålla jordens

bördighet. Det skulle exempelvis kunna göras genom att lägga tillbaka den biogödsel som bildas vid rötningen på åkern eller genom att kompensera förlusten med odling av mellangrödor, alltså växter som odlas under sensommaren och tidig höst för att bygga upp markens lager av organiskt kol. Ytterligare en faktor som begränsar tillgången på halm är lantbrukarnas användning av ogräsmedel som innehåller pyralider för att ta bort örtogräs i spannmålsodlingen. Pyralider har visat sig vara svåra för naturen att bryta ned och därför får halmen från spannmål som behandlats med dessa ogräsmedel inte användas för att producera biogas och biogödsel.

Att skörda och ta tillvara vägkantsgräs kan vara positivt för den biologiska mångfalden då olika blommande örter gynnas när det kväverika gräset tas bort. På samma sätt kan skörd av vass ha miljöfördelar då växtnäring förs bort från strandängar, men skörden måste ske med hänsyn till djurlivet. Andra studier, genomförda av Trafikverket, har visat att förekomsten av tungmetaller och skräp i vägkantsgräs är lågt och därför inte bör innebära ett hinder för användning. Risken för spridning av oönskade växtarter i landskapet, så kallade invasiva och expansiva arter, bedöms även den som låg då frön vanligtvis inte tål den tuffa behandling som pelletering och rötning innebär.

Halm, vägkantsgräs och vass visade sig kunna generera betydande mängder metangas vid teströtningen, men det är osäkert om mer metangas bildas när materialet pelleteras jämfört med om materialet inte pelleteras. Men en klar fördel med pelletering är att materialet blir lättare att frakta och hantera på biogasanläggningar jämfört med obehandlat långstråigt material. Genom pelleteringen ökar även uppsugningsförmågan vilket innebär att det fungerar bra som strömedel till exempelvis hästar.

Det som avgör prisbilden för den slutliga pelletsprodukten är hur torrt det skördade materialet är. Om pelletsen endast består av vägkantsgräs eller vass som innehåller för mycket vatten går det åt mycket energi för att torka materialet före pelleteringen, vilket gör att det blir dyrare än den pellets som endast består av torr halm. Slutsatsen är att pelletering av halm, vägkantsgräs och vass skulle kunna bidra med en ökad produktion av biogas, som är lönsam och hållbar, men det finns en del hinder på vägen som först behöver övervinnas.

Förkortningar och begreppsordlista

Biogas – en blandning av metan och koldioxid och mindre mängder andra gaser som bildas när biomassa bryts ned av mikroorganismer under syrefria förhållanden (rötning).

Biometan – bränsle bestående av metan (CH4) som framställs genom att biogas uppgraderas, dvs renas från koldioxid och andra föroreningar.

Biogödsel - det gödselmedel som bildas efter rötning vid produktion av biogas. Är ofta rikt på stabila kolföreningar och tillför jorden mullämnen och växtnäring när den sprids på åkermark.

BMP – Biokemisk metanpotential, hur stor del av den organiska substansen av ett biologiskt material som kan omvandlas till metan.

CH4 - metan

CO2 - koldioxid

E-metan – ett syntetiskt bränsle där vatten spjälkas till väte och syre med hjälp av elektricitet, och där väte sedan genom en biologisk eller kemisk-katalytisk process kombineras med koldioxid för att bilda metan.

ILUC – Indirekta utsläpp till följd av att markanvändningen förändras när biomassa används för att producera biogas (Indirect Land Use Change).

ISBL – Investeringskostnad för färdig anläggning

KPI – Konsumentprisindex, ett mått på den generella prisnivån i Sverige

kWh – Kilowattimme

Normalkubikmeter (Nm3) – ett volymmått för gaser där volymen för en gas anges i kubikmeter när omgivningen håller ett normalt atmosfärstryck och omgivningstemperatur.

SWOT – ett planeringsverktyg för att identifiera styrkor, svagheter, möjligheter och hot vid strategiska beslut (strengths, weaknesses, opportunities, threats).

Substrat – biomassa som utsätts för en rötningsprocess för att utvinna biogas

TS – Torrsubstans, mängden torrt material som återstår efter fullständig torkning

TWh - Terawattimme

VS – Organiskt material (volatile solids), andelen av torrsubstansen som består av organiskt material.

Ymp – En liten mängd rötat material med aktiva mikroorganismer som blandas med biomassa för att sätta igång biogasprocessen.

Innehållsförteckning

Sammanfattning **3**

Summary in English **5**

Populärvetenskaplig sammanfattning **7**

Förkortningar och begreppsordlista **9**

1 Introduktion **13**

1.1 Bakgrund 13

1.2 Syfte 15

1.3 Metod 15

2 Definition av värdekedjan **17**

2.1 Referensvärdekedjor 17

2.2 Värdekedjor med vägkantsgräs och vass 19

3 Kartläggning av värdekedjan **23**

3.1 Tillgång och kvalitet på vass, vägkantsgräs och halm 23

3.2 Skörd, insamling och bearbetning av substraten 24

3.3 Potentiella användningsområden för produkterna 29

3.4 Biogaspotential före och efter förbehandling 29

3.4.1 Material och metoder 29

3.4.2 Resultat 30

3.4.3 Slutsatser 34

4 Teknoekonomisk analys **35**

4.1 Processteg i värdekedjorna 36

4.1.1 Skörd av halm 36

4.1.2 Skörd av vägkantsgräs och vass 36

4.1.3 Transporter 37

4.1.4 Torkning 37

4.1.5 Pelletering 38

4.1.6 Brikettering 39

4.1.7 Strökonsument 41

4.1.8 Biogasanläggning med uppgraderingsanläggning 41
4.2 Åker/vägkant/våtmark → brukare av strö 42
4.2.1 Känslighetsanalys av pelletsproduktion 44
4.3 Biogasproduktion 47
4.4 Energianalys av delsteg i värdekedjan 49
5 Motivering av värdekedjan 52
5.1 Målkonflikter 52
5.1.1 Halm som substrat till biogas vs halm som kolkälla i åkermark 53
5.1.2 Halm som substrat till biogas vs alternativ användning av halm 55
5.1.3 Halm som substrat till biogas vs lantbrukets användning av pyralider 56
5.1.4 Möjlighet att ersätta en del av halmen med skördat vägkantsgräs 58
5.1.5 Tillgång och kostnad av vägkantsgräs 58
5.1.6 Skörd av vägkantsgräs vs bevarande av biologisk mångfald 59
5.1.7 Skörd av vägkantsgräs vs spridning av invasiva arter 60
5.1.8 Vasskörd och dess inverkan på växt- och djurliv 60
5.2 Genomförbarhet 61
6 Slutsatser 65
7 Referenser 67

1 Introduktion

1.1 Bakgrund

Energislaget biogas har kommit att spela en allt viktigare roll i den gröna omställningen. Efterfrågan har ökat kraftigt de senaste åren och förväntas fortsätta att växa. Industrin i Sverige uppskattar att branschens behov av biometan kommer att öka kraftigt. Även inom sjöfartssektorn, tunga vägtransporter och som balanskraft inom elsektorn ökar biogasens betydelse i Sverige.

Basindustrin såsom SSAB och Perstorp har planer på att ersätta fossil kolkälla med biogas i processen (Secher, 2021 & Energigas, 2020). Höganäs har sett över möjligheten att reformera biogas i stället för naturgas till vätgas (Rise, 2021), även raffinaderier har utryckt intresse att ersätta naturgas med biogas. Essity (2022) kommer att producera mjukpapper med flytande biometan (LBG) som energikälla i stället för LNG. Transportsektorn efterfrågar LBG som drivmedel (Sjöfartstidningen, 2021, Furutank 2022, Volvo 2022). Det pågår alltså en energi- och klimatomställning där biogas kan spela en relativt stor roll i omställningen, men räcker biogasen till? Det framtida behovet av biogas i Sverige hos industrin och transportsektorn enligt Jivén m.fl. (2022) är ca 8 TWh/år 2030. I dagsläget produceras det cirka 2,2 TWh biogas/år i Sverige, varav cirka 1,5 TWh/år är biometan. Det finns även planerade projekt i Sverige inom de närmaste åren som motsvarar ytterligare produktionskapacitet på ca 1,5 TWh biometan (Jivén m.fl., 2022). Biometan produceras idag genom att "uppgradera" biogas (en process som tar bort CO_2 som finns i biogasen) och kan i framtiden också produceras genom termo- och elektrokemiska vägar med efterföljande metanisering. Biogaspotentialen i Sverige från avfall, biprodukter och biomassa som inte bidrar till indirekta effekter av förändrad landanvändning (iLUC) är ca 19 TWh/år (Jivén m.fl., 2022). Potentialen är från avloppsslam, matavfall, industriellt livsmedelsavfall och från jordbrukssektorn.

Jordbrukssektorns potential består av gödsel, biprodukter från växtodling såsom halm och skörderester som inte anses bidra till iLUC. Gödsel används redan till biogasproduktion medan biprodukter används i mycket liten omfattning. Odlad biomassa anses på EU nivå bidra till iLUC medan halm ofta lyfts fram som en av de större outnyttjade resurserna som kan användas. I Sverige har biogaspotentialen från halm bedömts till cirka 2-4 TWh/år 2030 (Börjesson 2021). Tillkommande är vägkantsgräs och vass från sjöar, våtmarker och vattendrag vilket motsvarar ca 0,3–1 TWh/år. Vägkantsgräs och vass används inte för

produktion av biogas medan det finns kommersiella biogasanläggningar som rötar halm direkt men framför allt rötas gödsel med halm som strömedel. Utan förbehandling blir rötning av halm, vägkantsgräs och vass en relativt dyr process pga att det krävs långa uppehållstider samt att substratet också är svårt att hantera mekaniskt på anläggningen då pumpar och rörverk inte är anpassade till så torrt och skrymmande material. För att substraten ska bli en betydande råvara för biogasproduktion krävs att dessa inte ställer till med bekymmer på anläggningen samt att biogasutbytet förbättras givet likvärdig uppehållstid. Förbehandlad halm genom pelletering utgör ett bra komplement till gödsel jämfört med obehandlad halm vilket medför att en befintlig anläggning som rötar gödsel utnyttjas bättre samt att biogödseln berikas med mullhaltshöjande ämnen (Persson m.fl., 2015). Biogödsel kallas det gödselmedel som bildas efter rötning vid produktion av biogas. Studier har undersökt förbehandlingsmetoder för lignocellulosarika substrat genom biologisk behandling såsom kompostering eller mekanisk behandling såsom finfördelning med hammarkvarn, behandling i extruder, ångsprängning, pelletering och brikettering (Björnsson et al, 2014, Horvath et al, 2017 och Toft et al, 2022). Biologisk behandling kräver långa processtider och gemensamt för mekanisk förbehandling har varit att tekniken begränsats av krav på fukthalt (tillräckligt torrt vid mekanisk förbehandling och tillräckligt fuktigt vid biologisk förbehandling). Metoderna är också kostsamma vilket återspeglas i verkligheten där stora mängder halm krävs för att uppnå lönsamhet vilket beror på höga investerings- och driftkostnader. Vägkantsgräs och vass tas om hand i begränsad omfattning medan halmen finns i överskott i vissa delar av Sverige och underskott i andra. Halm har idag andra användningsområden som strömedel till djur, förbränning för värmeproduktion eller som en mullhaltshöjande åtgärd när det plöjs eller myllas ner i marken. Att använda halm som strömedel i djurhållning är vanligt och halmen äts då delvis upp av djuren och följer även med gödseln som då kan rötas. Halm från stråsäd, rapshalm, betblast m.m. plöjs eller myllas normalt ner i åkern efter skörd (RISE, 2022) så att kolet då återförs till marken igen. Biogödseln återförs också till åkermarken där det finns en positiv långsiktig effekt på kolinlagring av biogödsel (Söderquist, 2023). Detta borde även vara fallet för biogödseln från vägkantsgräs och vass. Att pelletera/brikettera halm innan användning som strömedel ökar utbytet vid biogasproduktion enligt Xavier et al. (2015). Detta kan möjliggöra användning av halm som strömedel och efterföljande biogasproduktion utan att konkurrera med andra avsättningsområden där det råder brist eftersom halm redan används som strömedel och biogasutbytet ökar relativt obehandlad halm. Pelletering/brikettering av vägkantsgräs och vass kan användas på samma sätt och ersätta halm som strö vilket minskar konkurrensen kring halm.

Det finns dock stora utmaningar med att utnyttja mer halm, vass och vägkantsgräs för biogasproduktion. Både lönsamhetsaspekter med skörd, lagring och förbehandling och

eventuella målkonflikter måste hanteras och utvärderas för att ett större utnyttjande av dessa substrat ska bli verklighet.

1.2 Syfte

Projektet ska klarlägga och motivera demonstration av rötning av halm, vägkantsgräs och vass utifrån energi- och klimatperspektiv.

1.3 Metod

Projektet är en genomförbarhetsstudie för ett demonstrationsprojekt vars syfte är att utveckla en affärs- och genomförandemodell som är grunden i ett framtida kommersiellt projekt för att tillvarata den energi som finns i halm, vägkantsgräs och vass ihop med lantbruksgödsel. Eftersom halm, vägkantsgräs och vass har starka bindningar mellan lignin, cellulosa och hemicellulosa behövs förbehandling för att luckra upp dessa bindningar och därmed öka utbytet vid produktion av exempelvis biogas. En tillgänglig förbehandlingsmetod är pelletering/brikettering vilket både ökar utbytet av biogas och kan möjliggöra användning av vägkantsgräs och vass som strö i djurproduktionen utan att konkurrera med andra användningsområden. Att använda vägkantsgräs och vass som strö möjliggör därför att ytterligare halm kan användas till andra användningsområden som ger produkter som kan ha ett högre värde.

Pelletering av halm blandat med vägkantsgräs genomfördes i projektet på Laga bioenergi och pelletering av vass genomfördes på Genevads grönfodertork i juli 2024. Därefter har olika värdekedjor kopplade till halm, vägkantsgräs och vass utvärderats utifrån kostnader och energiåtgång för de olika alternativen. För att undersöka de olika substratens biogaspotential före och efter förbehandling (torkning och pelletering) genomfördes så kallade utrötningsförsök (BMP-försök). Försöken utfördes på IVL:s försöksanläggning SWIC (Sjöstadsverkets Water Innovation Centre) under hösten 2024 med 8 olika substrat/substratkombinationer. Genomförbarhetsstudien har dessutom utvärderats och analyserats med avseende på starka och svaga sidor, möjligheter och risker i en SWOT analys. Målkonflikter har studerats genom en litteraturstudie.

De deltagande företagen har involverats på olika sätt eftersom deras utgångspunkt och därmed ingångar i projektet är olika. För Södra Hallands Kraft är nya substrat intressanta som potentiella råvaror för att producera biogas. Perstorp har ett behov av stora mängder biogas och att öka mängden tillgängliga substrat längs med naturgasnätet är viktigt för

dem. Volvo Lastvagnar erbjuder fordon som kan drivas på biogas och samtidigt så håller deras fabriker på att ställa om från fossil energi till förnybar där biogas kan användas för att ersätta propan. Biofrigas önskar erbjuda lösningar för mindre biogasanläggningar så att biogasen kan uppgraderas och ser lignocellulosarika substrat som viktiga för att kunna öka produktionen till den nivå som behövs för att få lönsamhet vid användning av deras produkter.

2 Definition av värdekedjan

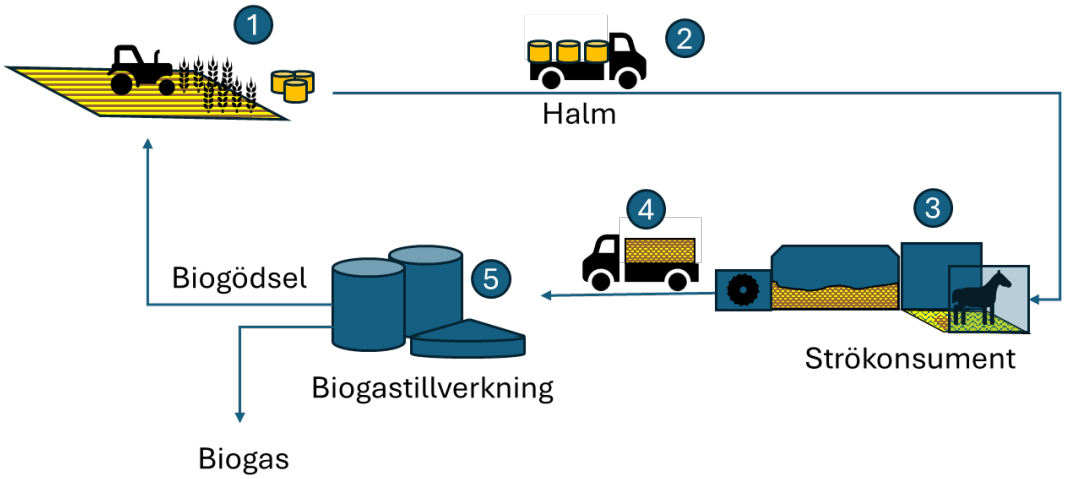
Detta kapitel beskriver de värdekedjor för produktion av strö och biogas som utvärderats i projektet. Samtliga värdekedjor omfattar följande tre steg:

- Produktion av strö
- Användning av strö i djurhållning
- Rötning av använt strö och gödsel

Som råvara används halm, vass eller vägkantsgräs, antingen var för sig eller sammanblandat.

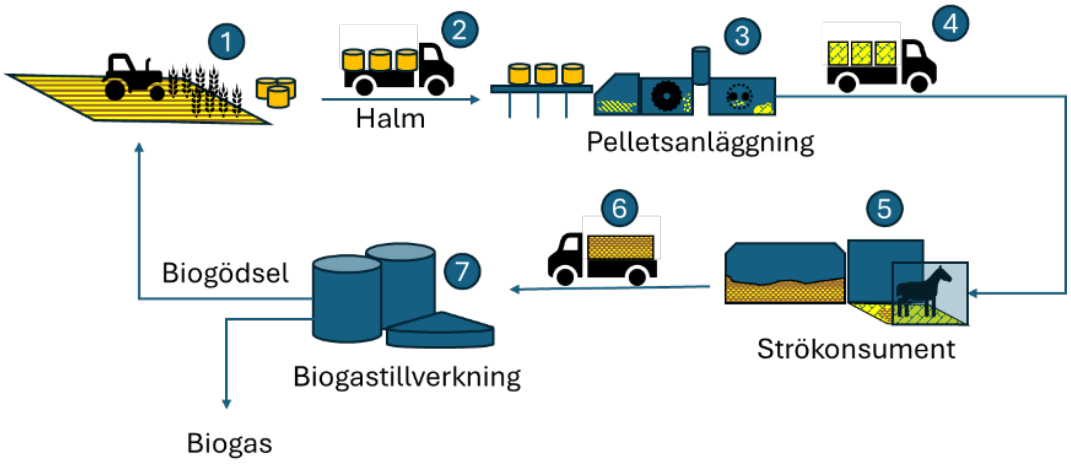
2.1 Referensvärdekedjor

Två referensvärdekedjor används i projektet: Direkt användning av halm som strö, samt användning av pelleterad halm som strö. Figur 1 illustrerar den första av värdekedjorna, d.v.s. direkt användning av halm som strö, här kallad ”Långhalm”. Det är vanligt att använda sig av halm direkt som strö, trots att långhalm har relativt dålig uppsugningsförmåga. Halm uppfyller nämligen det man vill åstadkomma med strö: en hygienisk miljö till lågt inköpspris som dessutom ger djur som hästar något de kan sysselsätta sig med (Bengtsson och Martinell, 2016; Haglund, 2010). För att långhalmen skall fungerar som ett bra substrat för biogasproduktion måste den rivas, detta för att halm i en biogasanläggning med våtrötning annars lägger sig på ytan (Carlson och Uldal, 2009).



Figur 1. Referensvärdekedja "R1, Långhalm". Halm används som strö och sedan som substrat till biogastillverkning. 1) åker där halm torkas och skördas. 2) transport av halmbalar samt lager av torr halm i lada. 3) strökonsument (djurhållning) med gödselstack och rivningsanläggning. 4) transport av gödsel och halmströ. 5) biogasanläggning med uppgradering.

I den andra referensvärdekedjan pelleteras halmen innan den används som strö. Denna värdekedja kallas "Halmpellets" (se Figur 2). Här förbehandlas halmen genom hackning och pelletering vilket ökar dess uppsugningsförmåga och densitet för förenklad hantering och transport (Haglund, 2010; Nilsson och Bernesson, 2008). Pelletering gör dessutom hanteringen lättare vid biogastillverkningen då ingen rivning av strömaterialet krävs, och kan även öka biogasutbytet (Wennerberg och Dahlander, 2014).

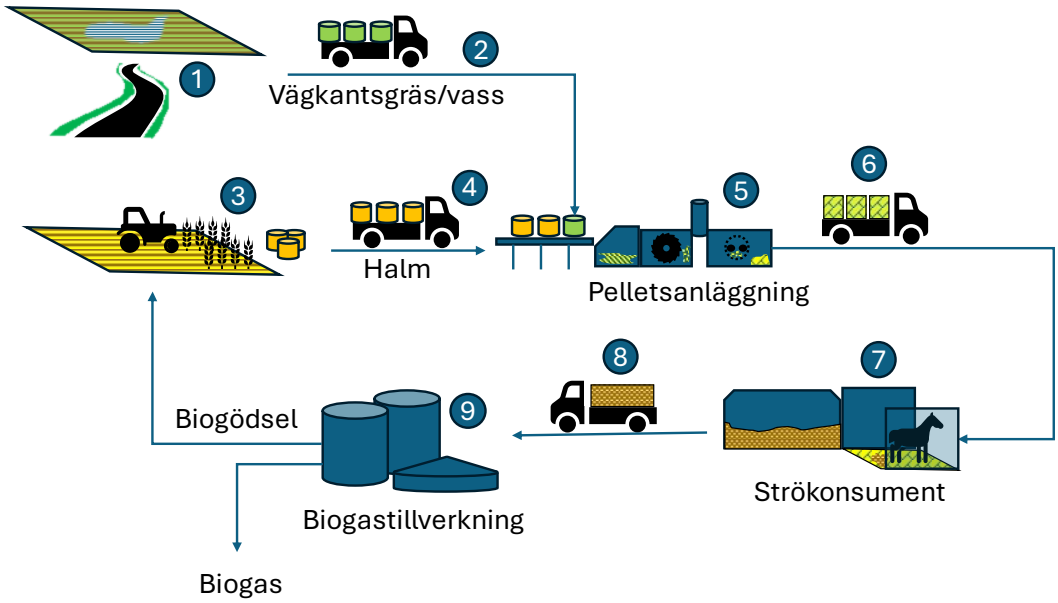


Figur 2. Referensvärdekedja "R2, Halmpellets"; pelleterad halm används som strö och sedan som substrat till biogastillverkning. 1) åker där halm torkas och skördas. 2) transport av halmbalar samt lager av torr halm i lada. 3) pelletsanläggning där halm pelleteras 4) Transport av pelleterad halm. 5) strökonsument (djurhållning) med gödselstack. 6) transport av gödsel och halmströ. 7) biogasanläggning med uppgradering.

2.2 Värdekedjor med vägkantsgräs och vass

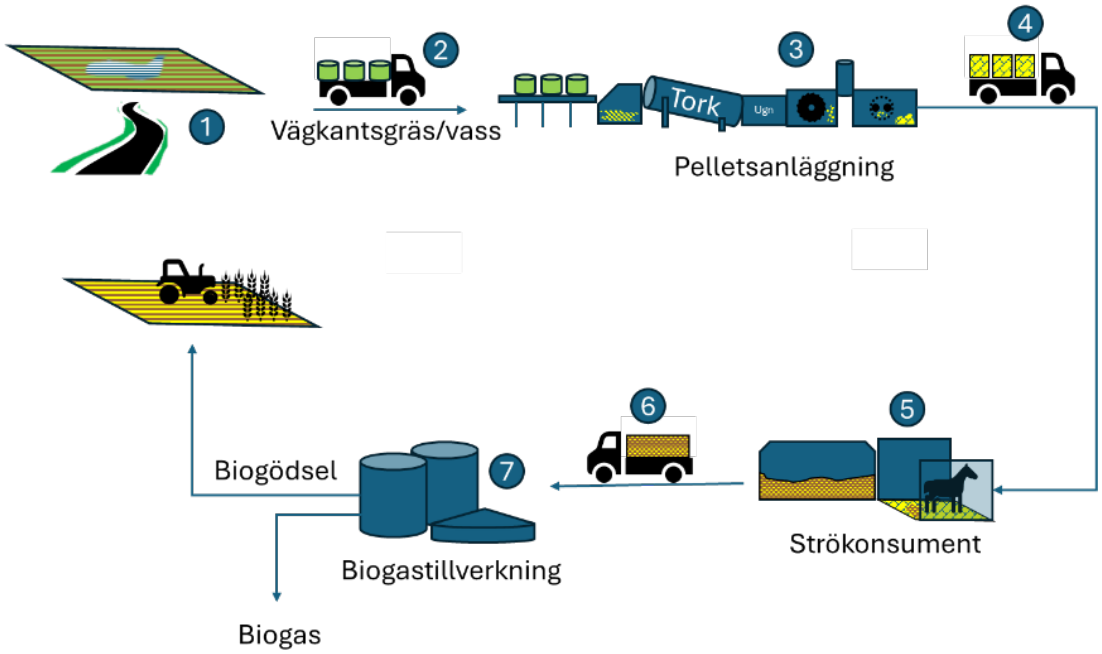
Det finns olika sätt att hantera vägkantsgräs och vass vid pelletering. Gemensamt för båda substrat är att fukten som finns i det skördade materialet måste minska. Dels för att materialet skall gå att lagra utan att ruttna och dels för att pelletering kräver en specifik fukthalt om ca 5–15% (Wennerberg och Dahlander, 2014). Det har också visat sig att halm som lagrats en tid har mycket låg fukthalt och det kan därför behövas tillsättas vatten vid pelleteringen för att materialet skall pelleteras bra (Bernesson och Nilsson, 2005). Utifrån detta har två olika principiella värdekedjor utformats.

Den ena värdekedjan kallas i projektet ”Sampelletering” (se Figur 3) och bygger på att blött vägkantsgräs och/eller vass blandas med torr halm, vilket ger dubbla fördelar: vägkantsgräs/vass behöver inte torkas, och vatten behöver inte tillsättas för att blöta upp halmen. Detta testades inom projektet hos Laga Bioenergi under sommaren 2024 med 20 vikt-% inblandning av vägkantsgräs. Försöken var lyckade och det är denna inblandningsnivå som är utgångspunkt för analyserna i detta projekt. Inga liknande försök utfördes med vass men det har i projektet antagits att vass och halm kan sampelleteras med samma goda resultat. För att kunna lagra det blöta vägkantsgräset och vassen efter skörd krävs ensilering för att undvika att råvaran ruttnar. Ensileringens påverkan på pelletskvalitet har inte utvärderats inom projektet. Denna värdekedja skulle kunna vara flexibel och beroende på tillgång pelletera antingen med enbart halm eller med inblandning.



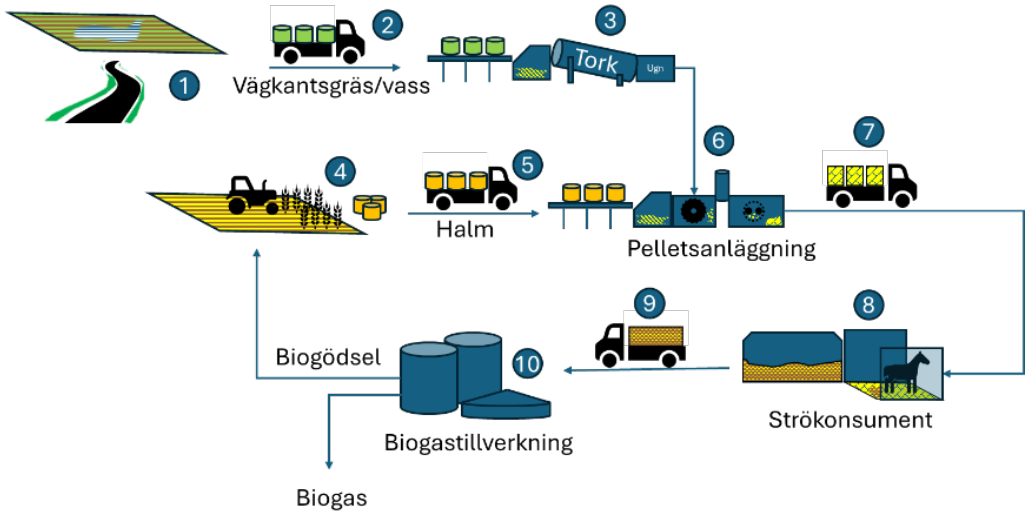
Figur 3.Värdekedja med inblandning av vägkantsgräs och vass i halmpellets, kallad "S, Sampelletering"; Sampelleterad halm med vägkantsgräs (S1) eller vass (S2) istället för vatten för att uppnå korrekt fukthalt som används som strö och sedan som substrat till biogastillverkning. 1) Vägkantsgräs och vass samlas in vid olika täkter 2) Vägkantsgräs och vass transporteras till anläggning och lagras blött i plansilo. 3) åker där halm torkas och skördas. 4) transport av halmbalar samt lager av torr halm i lada. 5) pelletsanläggning där halm sampelleteras med inblandning av vägkantsgräs och vass 6) Transport av pellets. 7) strökonsument (djurhållning) med gödselstack. 8) transport av gödsel och strö. 9) biogasanläggning med uppgradering.

Den andra värdekedjan med vass/vägkantsgräs som utvärderats i detta projekt är "Torkning och Pelletering" (se Figur 4) där blött vägkantsgräs och vass torkas för att senare kunna pelleteras. Denna värdekedja inkluderar därför en torkanläggning i anslutning till pelleteringen.



Figur 4. Värdekedja med enbart vägkantsgräs och vass som torkas innan pelletering, kallad "T&P. Torkning och Pelletering"; Vägkantsgräs (T&P1) och vass (T&P2) torkas för att kunna förvaras och sedan pelleteras för att används som strö och sedan som substrat till biogastillverkning. 1) Vägkantsgräs och vass samlas in vid olika täkter 2) Vägkantsgräs och vass transporteras till anläggning. 3) Tork och pelletsanläggning där vägkantsgräs och vass torkas och pelleteras 4) Transport av pellets. 5) strökonsument (djurhållning) med gödselstack. 6) transport av gödsel och strö. 7) biogasanläggning med uppgradering.

Som alternativ till värdekedjan "Torkning och Pelletering" kan man tänka sig en kombinerad anläggning där även halm kan pelleteras (se **Error! Reference source not found.**). Denna värdekedja skulle kunna anpassas efter säsongerna (som påverkar tillgången till råmaterial), vilket skulle bidra till ökad nyttjandegrad för anläggningen. Denna värdekedja har ej behandlats särskilt i denna rapport.



Figur 5. Alternativ värdekedja till värdekedjan "Torkning och Pelletering" där pelletsanläggningen kan användas för flera syften; antingen för torkad Vägkantsgräs och vass eller halm som pelleteras för att används som strö och sedan som substrat till biogastillverkning. 1) Vägkantsgräs och vass samlas in vid olika täkter 2) Vägkantsgräs och vass transporteras till anläggning. 3) Tork där vägkantsgräs och vass torkas. 4) åker där halm torkas och skördas. 5) transport av halmbalar samt lager av torr halm i lada. 6) pelletsanläggning där antingen torkad vägkantsgräs/vass eller halm kan pelleteras. 7) Transport av pellets. 8) strökonsument med gödselstack. 9) transport av gödsel och strö. 10) biogasanläggning med uppgradering.

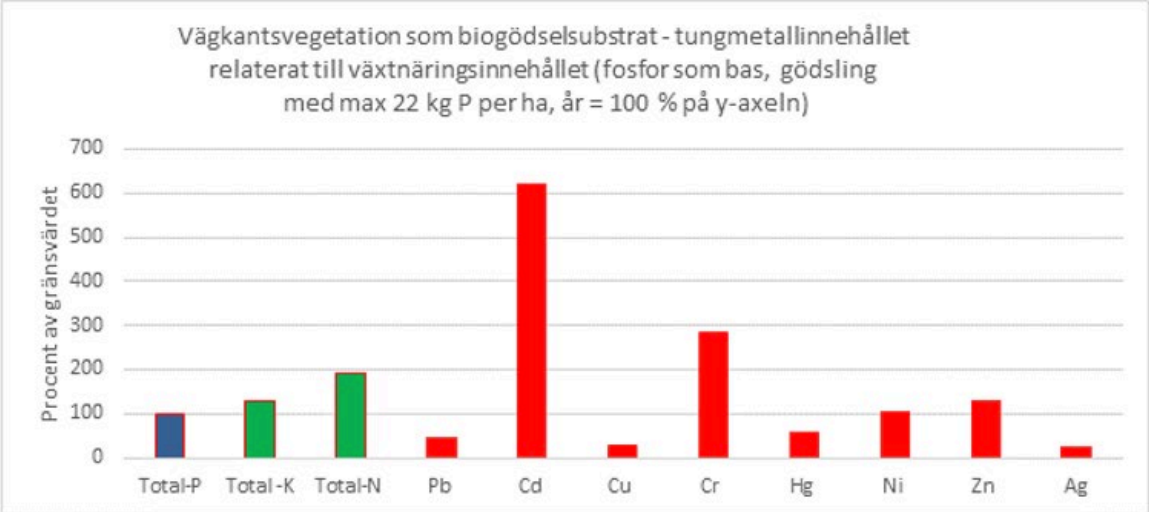
3 Kartläggning av värdekedjan

3.1 Tillgång och kvalitet på vass, vägkantsgräs och halm

Tillgången på halm varierar stort i olika områden i Sverige beroende på omfattning av spannmålsodling, djurhållning samt den enskilda årsmånen. En uppskattning av Prade et al. (2017) är energipotentialen i den totala bärgningsbara halmen ca 1 TWh/år. Halm används dessutom i biogassammanhang framför allt som ingående strömedel i flyt-, fast- och djupströgödsel som i sin tur utgör biogassubstrat.

Vägkantsgräs/vägkantsvegetation huggs av och får i princip alltid ligga kvar i vägkanterna. Det handlar om stora arealer, enbart det statliga vägnätet sträcker sig över 100 000 km. Enligt en tidigare rapport uppskattas den totala energipotentialen för vägkantsgräs till 0,5 – 1,5 TWh.

Stora mängder vass skördas idag i södra Sverige och utgör en outnyttjad resurs. Det finns såvitt vi vet inte någon beräkning av energipotentialen för hela Sveriges vassbestånd. En studie uppskattade den totala energipotentialen för Skånes insjöar till 3275 MWh/år (Region Skåne, 2015).



Figur 6. Analys av tungmetaller i skördat vägkantsgräs. Tungmetallinnehållet relaterat till fosforinnehållet när biogödsel produceras av vägkantsgräset och används som växtnäring på åkermark.

3.2 Skörd, insamling och bearbetning av substraten

Vägkantsgräs skördat på vägrenar i Blekinge transporterades med lastbil, dels till Laga Bioenergi och dels till Genevads grönfodertork. Dessa båda företag ligger i Laholms kommun. Laga Bioenergi tillverkar idag halmpellets till strömedel och Genevads grönfodertork tillverkar grönfoderpellets av gräs/klöver till återförsäljare av hästfoder.

Vägkantsgräset, som levererades från Blekinge av Trafikverket till denna undersökning, var skördat med hjälp av ett speciellt slagslåtteraggregat med uppsugningsfunktion av materialet. Det avslagna materialet fördes med hjälp av ett luftflöde, som alstrades av en hydrauldriven fläkt, i en grov transportslang från slåtteraggregatet till en container bakom redskapsbäraren, som var drivkällan för hela skördeoperationen. Ett slagslåtteraggregat, som har en horisontellt liggande och roterande axel med påhängda slagor, ger en relativt stor sugeffekt på grund av fläktverkan från de roterande slagorna. Vid användning av slagslåtteraggregat kan mängden sand, jord och andra föroreningar i det avslagna materialet bli betydligt större, jämfört med om ett rotorslåtteraggregat används för skörd av vägkantsgräset (Emilsson m.fl., 2024).

Sampelletering av vägkantsgräs och halm på Laga Bioenergi juli 2024

Ca 3,5 ton vägkantsgräs med ca 70 % vatten användes för testet. Denna mängd sampelleterades med vetehalm som innehöll ca 8 % vatten.

Figur 7 Foton från sampelletering av vägkantsgräs och halm på Laga Bioenergi juli 2024.

Upp till 250 kg vägkantsgräs, omblandat i en mixervagn, blandades sedan manuellt med 1200 kg halm (två storbalar) på transportbandet till pelleteringsmaskinen. Det uppstod inga problem med damning.

I pelletspressen steg temperaturen till ca 100 grader på grund av ren friktionsvärme. Inget vatten behövde tillsättas vid pelleteringen. Vid pelletering av ren halm tillsätts normalt ca 1 liter vatten/min. Det vill säga ca 60 liter vatten/tim till ca 1,3 - 1,4 ton pellets

Resultatet av testet blev 1230 kg vägkantsinblandad halmpellets, det vill säga med innehållet ca 20 % vägkantsgräs och 80 % halm. Bedömningen var att upp till inblandning av vägkantsgräs borde gå bra utan att påverka pelletskvaliteten. Pelletsen med inblandning av vägkantsgräs uppvisade ungefär samma färgnyans som rena halmpellets.

Pelletering av vägkantsgräs på Genevads Grönfodertork juli 2024

För testet användes ca 2 – 3 ton vägkantsgräs som utgjordes av en andra skörd. Det vill säga det var andra gången de aktuella vägrenarna skördas under säsongen. Foton från pelleteringen visas i Figur 7.

Figur 8 Foton från pelletering av vägkantsgräs på Genevads Grönfodertork juli 2024.

Vägkantsgräset var skördat med slaghack, med strålängden ca 5 - 10 cm. Vägkantsgräset innehöll en del grus, pinnar och lite plast. Föroreningarna medförde inga problem vid pelleteringen utan hamnade i stenfickan.

Tillförsel av vatten skedde manuellt för att pelletsen inte skulle bli för hårda. Tillförseln motsvarade högst 10 vikt-%.

Genevadstorkens kapacitet är i genomsnitt ca 4 ton pellets/tim. Är råvaran mycket våt sjunker kapaciteten till ca 1,5 ton/tim. Processen utmärks av mycket manuell kontroll.

Resultat blev ca 400 kg gröna pellets av vägkantsgräs.

Pelletering av vass på Genevads Grönfodertork augusti 2024

Vassen skördades 2024-07-30 i Lilla Sjön, Hästveda i Skåne och transporterades med lastbil till Genevads Grönfodertork dagen efter. Foton från skördningen visas i Figur 8.

Figur 9 Foton från skördningen av vass i Hästveda i Skåne juli 2024.

Skörden skedde med amfibiefarkoster försedda med slåtterbalk, av företaget Naturvårdsingenjörerna AB. Företaget svarar för mycket vassklippning i södra Sverige upp till Jönköpingstrakten. Efter vassklippning fördes den avklippta vassen upp på strandkanterna. Detta också med hjälp av amfibiefarkosterna.

Vassen som var skördad med fullängd lades i sträng på Genevads Grönfodertork och hackades med hjälp av den ordinare självgående exakthacken ned till en strålängd av ca 2,5 – 3 cm. Synbara större föroreningar plockades bort manuellt och de mindre föroreningarna avlägsnades via stenfickan i pelleteringsprocessen.

Resultat blev denna gång ca 400 kg gröna pellets av vass.

3.3 Potentiella användningsområden för produkterna

Vass och vägkantsgräs är till stor del outnyttjade resurser som kan användas till strömedel och biogassubstrat. Det finns också potentiella värdekedjor gällande pelletering av halm, vägkantsgräs och vass för biogasproduktion. I ett kommersiellt fortsättningsprojekt är en viktig del att hitta möjliga intressenter i olika led i värdekedjan, inom olika geografiska områden. Det är viktigt i ett fortsatt arbete i att hitta möjligheterna till kostnadsminimering i värdekedjans olika led, genom exempelvis olika teknikval.

Sampelletering av halm och vinterskördad vass bör också ingå i fortsatta studier. Mer studier behövs också gällande användning av pelleterad halm/vägkantsgräs som strömedel i exempelvis hästboxar. Viktiga kvalitetsparametrar i detta sammanhang är hur god är den vätskeuppsugande förmågan, storleken på dammbildning och i vilken utsträckning djuren äter pelletsen.

3.4 Biogaspotential före och efter förbehandling

För att undersöka de olika substratens biogaspotential före respektive efter förbehandling, såsom torkning och pelletering, genomfördes så kallade utrötningsförsök (BMP-försök).

3.4.1 Material och metoder

Försöken utfördes på IVL:s försöksanläggning SWIC under hösten 2024 med 8 olika substrat/substratkombinationer i enlighet med Tabell 1.

Tabell 1. Substrat som analyserades vid BMP-försöket.

Substrat
Halm
Pelleterad halm
Halm + 15 vikt-% färskt vägkantsgräs
Pelleterad halm + 15 vikt-% färskt vägkantsgräs
Färsk vass
Pelleterad torkad vass
Färskt vägkantsgräs
Pelleterad torkad vägkantsgräs

De substrat som analyserades i försöket förvarades i slutna plastpåsar i frys från provtagningstillfället till dess att utrötningsförsöken startade. Som ymp användes gödselbaserad rötrest från SLU:s biogasanläggning i Lövsta bruk. Ympen transporterades från Lövsta Bruk i dunkar och förvarades under två dygn i vattenbad vid 37°C. En TS/VS-analys på samtliga substrat och ymp utfördes på SWIC. Som positiv kontroll användes kristallin cellulosa. Den utrustning som användes vid försöket bestod av två uppsättningar AMPTS 2 från Bioprocesskontroll med totalt 30 stycken 500 ml reaktorer kopplade till separata gasflödesmätare. Temperaturen i reaktorerna hölls till 37°C i vattenbad.

Förhållandet mellan ymp och substrat i reaktorerna baserat på VS-halten (I/S-ratio) bestämdes till 3:1 efter rekommendation från SLU där liknande försök med stråbaserade substrat utförs regelbundet. Den totala tillsatta volymen i reaktorerna var 400 ml. Blandningen beräknades också för att minimera behovet av spädning med vatten då detta kan ge upphov till lägre metangasproduktion (Koch et al., 2019). Försöket utfördes med tripplikatanalys på varje substrat, blank och positiv kontroll. Försöket startades 2024-09-18 och pågick i 35 dagar till 2024-09-20 då gasproduktionen avstannat (<1 % ökning av metangasproduktionen).

3.4.2 Resultat

Resultat från TS/VS analys på SWIC presenteras i Tabell 2 och uträkning av blandningar i de olika reaktorerna i Tabell 3.

Tabell 2. Resultat från TS/VS-analys för de ingående substraten.

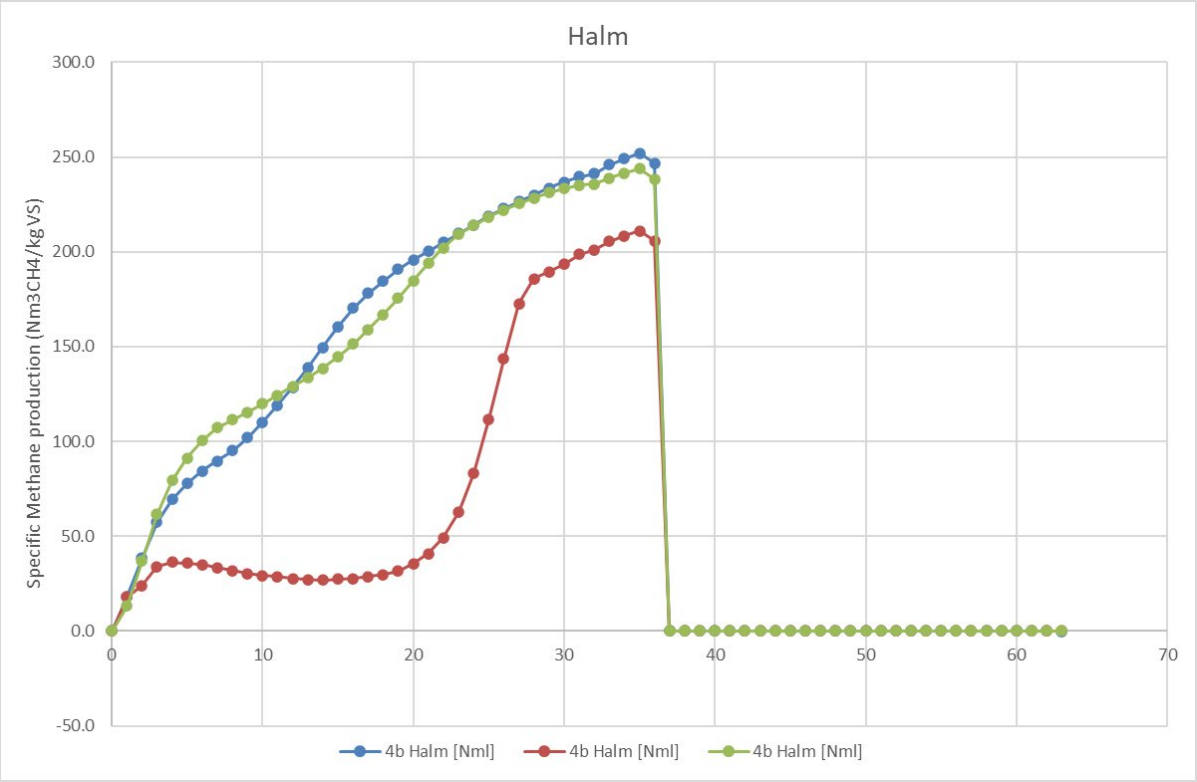
Substrat	TS %	VS %
Halm	85,6	98,7
Pelleterad halm	88,8	97,0
Halm + 15 vikt-% färskt vägkantsgräs	82,8	98,4
Pelleterad halm + 15 vikt-% färskt vägkantsgräs	87,1	97,4
Färsk vass	32,5	93,0
Pelleterad torkad vass	93,3	92,8
Färskt vägkantsgräs	34,4	91,2
Pelleterad torkad vägkantsgräs	91,5	89,6
Ymp från Lövsta bruk	4,5	72,3

Tabell 3. Blandning för flaskorna för vardera substrat, ymp och vatten för försöken.

	gVS/reaktor	gVS/reaktor	
	4	12	
Provnamn	**Substrat (g)**	**Ymp (g)**	**Vatten (g)**
Halm	4,7	366,4	28,9
Pelleterad halm	4,6	366,4	29,0
Halm + 15 % färskt vägkantsgräs	4,9	366,4	28,7
Pelleterad halm + 15 % färskt vägkantsgräs	4,7	366,4	28,9
Färsk vass	13,3	366,4	20,4
Pelleterad torkad vass	4,6	366,4	29,0
Färskt vägkantsgräs	12,7	366,4	20,9
Pelleterad torkad vägkantsgräs	4,9	366,4	28,7
Cellulosa	4,0	366,4	29,6
Blank	0,0	366,4	33,6

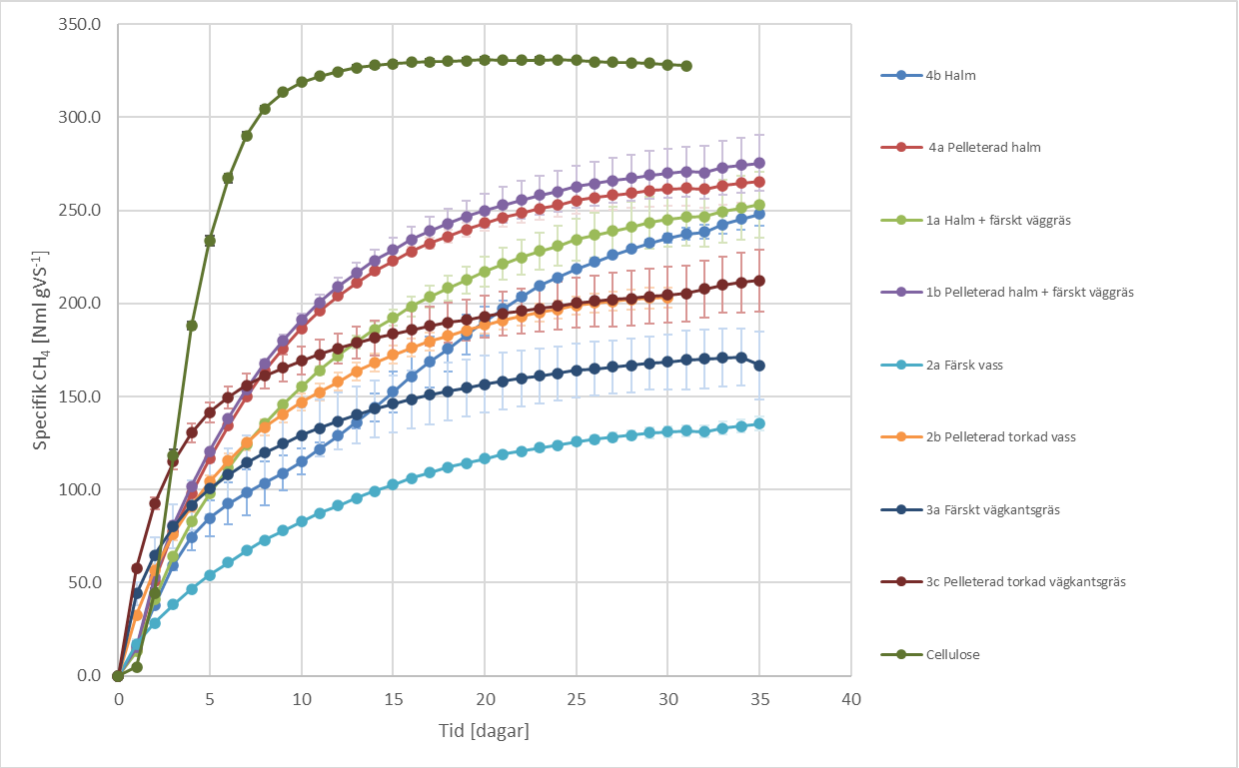
Substratet halm bestod av halmstrån som bara delvis klippts ner för att kunna föras ner i mynningen på reaktorerna med intentionen att inte bearbeta halmen onödigt mycket. Därav uppstod då att halmen tenderade att fastna i omrörarna och transporteras uppåt i reaktorn, ovanför vätskeytan. Detta medförde att en viss del av substratet inte befann sig i ympen under hela, alternativt under delar, av försökets gång.

Gasproduktionen i en av tre reaktorer för substratet ”Halm” avvek på ett så betydande sätt från de övriga två att den uteslöts från resultatberäkningen då den inte ansågs representativ (se figur 6). Därav kunde inte standardavvikelsen beräknas för den rena, obehandlade halmen.

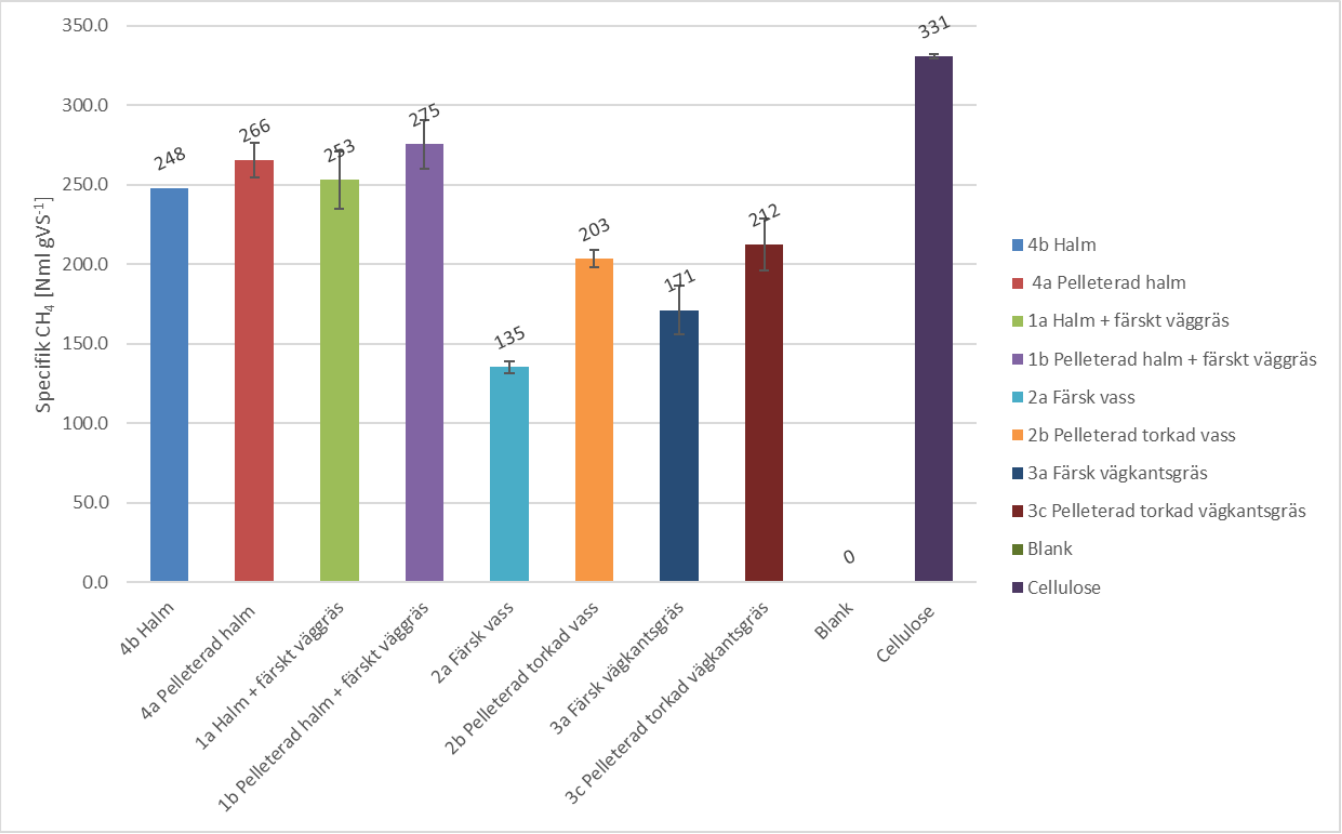


Figur 10 Kraftigt avvikande kurva för en av tripletterna för substratet obehandlad halm (nr 4b) som uteslöts från medelvärdesberäkningen. X-axeln motsvarar antal dagar för försöket.

Den specifika metangasproduktionen över tid presenteras i Figur 10 och resultat för biokemisk metanpotential (BMP) för de olika substraten presenteras i Figur 11Figur 10.



Figur 11 Specifik metangasproduktion för de olika substraten under försökets gång.



Figur 12 Resultat för biokemisk metanpotential för de olika substraten.

3.4.3 Slutsatser

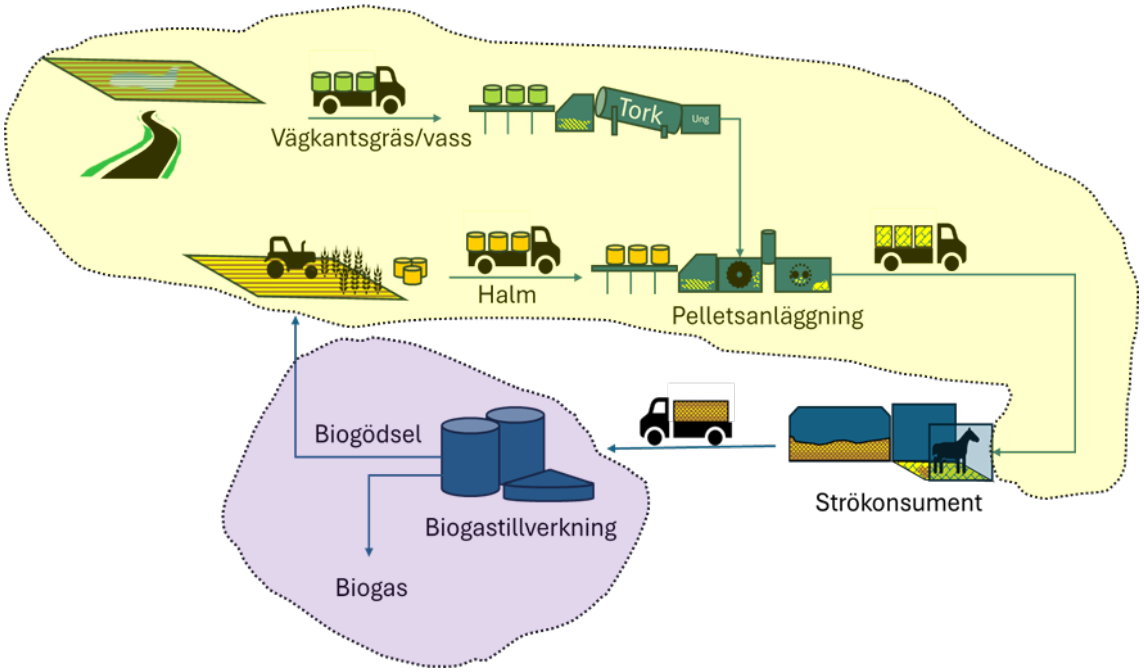
Någon statistiskt säkerställd skillnad mellan biogasutbyte för obehandlad och pelleterad halm respektive halm i kombination med vägkantsgräs kan inte visas i de genomförda utrötningsförsöken. För vass respektive vägkantsgräs visar försöken dock i medeltal 50 % respektive 24 % högre metanproduktion per gram VS för de torkade och pelleterade varianterna.

4 Teknoekonomisk analys

Detta kapitel beskriver den tekno-ekonomiska utvärderingen av de analyserade värdekedjorna. Avsnitt 4.1 beskriver värdekedjans steg mer i detalj och presenterar det dataunderlag som använts för respektive steg. Avsnitt 4.2 beskriver analysens metod och resultat.

För den tekno-ekonomiska analysen har värdekedjan delats i två delar (Figur 9): 1) tillverkning av strömaterial och 2) biogastillverkning och uppgradering av strö i en samrötningsanläggning. Uppdelningen görs dels för att beräkna en kostnad för strö vilket är av intresse för strökonsumenten, dels för att samrötningsanläggningen hanterar stora mängder flytgödsel som kommer från olika gårdar och kanske även olika kombinationer av strösubstrat.

Notera att transporter av strö- och gödsel från strökonsument till biogasanläggning inte hanteras i denna teknoekonomiska analys. Transporter står för en väsentlig del av produktionskostnaden, varför det är rimligt att anta att transporten av detta fasta, blöta och utspridda substrat är kostsam.



Figur 13. Illustration av uppdelningen av den teknoekonomiska analysen. Gula delen av värdekedjan är tillverkningen av strö och anges som kostnad per kg TS strö. Lila delen av värdekedjan är samrötning av använt strömaterial med flytgödsel och uppgradering av biogas från 1 kg TS strömaterial.

4.1 Processteg i värdekedjorna

I detta avsnitt diskuteras värdekedjornas steg mer i detalj. De värden som använts för den tekno-ekonomiska utvärderingen av värdekedjorna anges i Bilaga 2.

4.1.1 Skörd av halm

I detta projekt har inte skörd av halm inkluderats i den teknoekonomiska analysen. Det har i stället antagits att halmen köps in på bal efter att den torkats på åkern tills den är tillräckligt torr för pelletering. Använda data återfinns i bilaga 2.

För referensvärdekedjan med långhalm har även en rivningsanläggning inkluderats som efterhantering av halmen för att göra den bättre som biogassubstrat. Kostnader och energiåtgång har i detta projekt baserats på data för motsvarande anläggning för vägkantsgräs (Fredriksson, 2002).

4.1.2 Skörd av vägkantsgräs och vass

Vägkantsgräs klipps idag av säkerhetsskäl kring vägrenar för att öka sikt och säkerhet. Trafikverket ansvarar för denna klippning och historiskt så har detta gjorts utan att samla upp det klippta materialet. Trafikverket har genomfört en studie kring uppsamling av det klippta vägkantsgräset (Emilsson m.fl., 2024), vilken ligger till grund för kostnadsuppskattningarna för skörd av vägkantsgräs i detta projekt. De ekonomiska och energimässiga uppgifterna som använts återfinns i Bilaga 2.

Vass skördas för att extrahera näring från våtmarker och vattendrag samt förhindra att dessa växer igen. Skörd av vass i större skala måste anpassas till hur markförhållandena ser ut och för att minimera slitage på mark och förstörelse av vassens rötter. Därför finns det flera olika sorters skördemaskiner som är byggda mer eller mindre som amfibiefordon för att kunna klara både mjuk fuktig mark och vattendrag. Vassen skördas som långa strån och måste därför hackas innan den kan användas till olika ändamål (Emilsson m.fl. 2024). Det finns redan idag i Finland bidrag för att skörda vass om ca 620 €/ha (John Nurmisens stiftelse, 2024) men stöd av sådant slag har inte beaktats i denna studie. Kostnaden för att sommarskörda vass har stor spridning i litteraturen, förmodligen mycket beroende på lokala förutsättningar. Kostnader för enbart skörd utan hackning varierar mellan 0,4 kr/kg

TS (Fredriksson, 2002) och närmare 4,3 kr/kg TS, (Schultz-Zehden, 2012) vid skörd i Sverige. Det har även rapporterats om 0,54–0,79 kr/kg TS i en tysk studie men under oklara förutsättningar (Schultz-Zehden, 2012). I föreliggande projekt har det antagits att vass kan skördas för 2 kr/kg TS, vilket motsvarar ungefär stödet i Finland samt med känslighet på 50 % inkluderar större delar av intervallet mellan de studier som beskrivits. Samtliga av dessa värden är KPI-justerade till 2023. De ekonomiska och energimässiga uppgifterna som använts återfinns i Bilaga 2.

4.1.3 Transporter

Transporter, lastning och lossning har i flera studier visats vara avgörande för att få ekonomi i hanteringen av substrat som halm, vägkantsgräs och vass (Nilsson och Bernesson 2008; Wennerberg och Dahlander 2014). Speciellt för grödor som inte finns lokaliserade till en åker är det viktigt att det finns en effektiv och flexibel logistik. Transportkostnaderna är i hög grad beroende av i vilken form råmaterialet transporteras, exempelvis har torr långhalm en densitet på ca 10 kg/m3, men om den hackas kan en densitet på ca 70 kg/m3 uppnås. Ifall halmen i stället packas i balar ökar densiteten till ca 130 kg/m3 beroende på balningstryck och typ (Bernesson och Nilsson 2005). För torr halm går det alltså att anta att det är volymen som är begränsande vid transport. Däremot innehåller färskt vägkantsgräs och vass så stora mängder vatten att i stället vikten kan bli begränsande. Kostnadsuppskattningar för transport och lager av biomassa från åker/vägkant/våtmark har gjorts utifrån data som anges i Bilaga 2.

4.1.4 Torkning

Vid pelletering är det viktigt att halmen har en fukthalt på mellan 5–15 % för att få en sammanhållande pellets (Bernesson och Nilsson (2005). Det är lät att justera uppåt ifall råvaran är för torr, då är det bara att tillsätta vatten. Är däremot råvaran för blöt måste den torkas eller blandas med torrare råvara. Råvarorna som är av intresse i denna rapport, vägkantsgräs och vass, klipps båda när de är gröna och uppsamlingen sker med en gång. I tidigare studier har torrhalten i vägkantsgräs uppmätts till 24–29% för vass insamlad på hösten.

Vid skörd av halm lägga vanligtvis halmen i strängar när säden tröskas för att sedan få torka på fältet. På detta sätt kan man uppnå tillräcklig torrhalt för att halmen skall kunna balas och lagras. Med vägkantsgräs och vass är det inte möjligt att slå biomassan för att den sedan skall få torka på plats, utan den kommer behöva transporteras därifrån färsk. Detta

innebär att råvaran antingen måste torkas vid ankomst till pelletsanläggningen för att bli lagringsbar eller användas på en gång genom inblandning med torrare material.

Torkning av biomassa är en mycket kostsam process. Ofta används en roterande trumtork som värms direkt med varma rökgaser eller indirekt med en värmeöverförande mantel på trumman. Generellt är det inte trumman utan värmaren och bränslet till pannan som utgör den stora investeringen och driftkostnaden (enl. Projektpartners, personlig kommunikation 2024). Om man gör en överslagsräkning av torkningen för vägkantsgräs med en torrhalt på 29 % och att denna skall vara tillräckligt torr för lagring, d.v.s. en fukthalt på maximalt 14 % skulle det behövas förångas minst 2,3 kg vatten /kg TS. Om man antar att vägkantsgräset har liknande torkningsegenskaper som sågspån skulle detta motsvara en energiinsats för torkningen motsvarande ca 2 kWh/kg TS eller nästan 50 % av energivärdet som finns i materialet antaget att torrt gräs har en energidensitet på ca 15 MJ/kg (Fredriksson 2002). Med antagandet att energi kostar ca 1 kr/kWh så skulle bara energikostnaden för torkning vara på samma nivå som inköpskostnaden för halm.

Dimensioneringen av torken behöver ta i beaktande:

- Lagringsmöjligheterna för färsk vägkantsgräs/vass
- Hur stor timkapacitet torken behöver för att kunna hantera inkommande färskt material under skördetiden
- Möjlighet till ensilering av färskt material för att öka lagringsbarhet och minska maximala effekten på tork och öka antalet arbetstimmar.

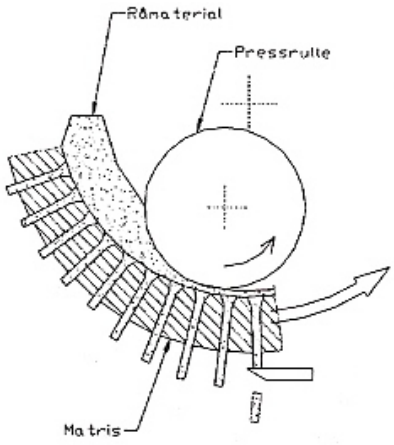
Teknoekonomiska data för torkning (energiåtgång, investeringskostnader) av vägkantsgräs och vass har i detta projekt antagits vara likvärdiga med motsvarande data för torkning av sågspån (Fredriksson, 2002) och kapacitet har antagits vara lika med pelletsanläggningen. Det har även antagits att torkningsegenskaperna hos materialen är jämförbart med sågspån och att dimensioneringen är proportionell mot mängden uttorkat vatten.

4.1.5 Pelletering

Pelletering av ligno-cellulosamaterial är en process som innebär att organiskt material, som ved, halm, eller gräs, komprimeras till små cylindriska pellets. Dessa pellets används främst som en biobränslekälla för energiproduktion men kan även för användas som strömaterial. Processen har vunnit popularitet på grund av dess bidrag till förnybar energi och dess roll i

att minska beroendet av fossila bränslen. För att ett material ska gå att pelletera måste det ha en torrhalt på 10-15 % och vara finfördelat.

Pelletering av halm och andra ligno-cellulosamaterial sker i större skala genom att man trycker torkat och finfördelat material genom en matris som genererar små pellets (Figur 13). Friktionen som uppkommer när materialet pressas igenom matrisen gör att en del av ligninet smälter och blir som ett lim som håller ihop pelletsen. Beroende på råmaterial, applikation och anläggningsstorlek kan olika typer av maskiner och matriser användas. Vid större anläggningar som pressar halm är en ringmatris vanligt förekommande. Køge Biopellet Fabrik i Danmark kan betraktas som state-of-the-art för pelletering av halm i stor skala. Denna fabrik hade en kapacitet på 110 000 ton/år eller 300 ton/dygn och samlade upp halm från framför allt Själland och övriga mindre öar inom en radie av ca 140 km. Det fanns flera produktionsspår, både för halmpellets och för träpellets och fyra olika pelletspressar samtliga med ringmatriser. (Bernesson och Nilsson (2005).



Figur 14. Illustration av en pelletsmaskin med ringmatris med invändig pressrulle (Emilsson m.fl. 2024)

För mindre anläggningar kan även pelleteringen ske direkt vid skörd av halmen på fältet. Detta är dock begränsat av den energi som traktorn levererar och den kapacitet som krävs för uppsamlingen av lös halm. Det är därför svårt att skala upp processen (Bernesson och Nilsson, 2005).

4.1.6 Brikettering

Brikettering är en alternativ kompakteringsmetod till pelletering. Vid brikettering tillverkas större briketter (några cm i stället för mm som pellets) och därför behöver inte materialet

finhackas på samma sätt som vid pelleteringen. Vanliga produktionsmetoder är antingen kolvpressning eller rullbrikettpress. Liksom för pellets är vattenhalten avgörande för kvalitén på briketten och dess hållfasthet. Brikettering sker oftast vid en stationär anläggning men även fältbrikettering har undersökts i tidigare studier (Bernesson och Nilsson, 2005).

Brikettering är en teknik som på senare tid utvecklats framför allt i Danmark för biogas och bioetanolproduktion. Ett av de ledande företagen är Kinetic Biofuel. Företagets teknik baseras på ett patent från 2017 av Torben A. Bonde, grundaren av BioFuel Technology A/S. Patentet (Bonde, 2017) gäller en kombinerad förbehandlings- och briketteringsprocess. Processen är decentraliserad, där maskiner bearbetar materialet för att tillverka högdensitetsbriketter som är lättare att transportera till en centraliserad biogasfabrik. Balar med halm rivs och finfördelas sedan med en hammarkvarn, distribueras genom en cyklon och matas in i briketteringsmaskinen, där materialet komprimeras av en kolvpress (Wennerberg och Dahlander, 2014).

Enligt Kinetic Biofuel uppnår deras briketterade material vid rötning ett utbyte av 300 Nm3 metan/ton VS halm, detta är att jämföra med 207 Nm3 metan/ton VS obehandlad halm (Schultz-Zehden, 2012). De resulterande briketterna har en hög specifik densitet på 800–1200 kg/m³, vilket gör dem mer lämpade för transport jämfört med höbalar, som har en densitet på 100-150. Tekniken har utvecklats och demonstrerats i full skala vid Aarhus Universitets testanläggning, där upp till 10 000 ton halm årligen kan förbehandlas och samrötas med 50 000 ton gödsel.

Ett exempel på en värdekedja där brikettering av halm är central är den som utvecklas av Green2x som är ett företag baserat i Danmark. De utvecklar en värdekedja där halm är råvara och slutprodukten är metanol. Företaget verkar inte som teknikägare, utan fokuserar på att skapa och optimera värdekedjan. De har genomfört försök vid biogasanläggningen kopplad till Aarhus University i Foulum och bygger för närvarande en anläggning för biometanoltillverkning i Vordingborg, med planerad produktionsstart år 2025. Denna anläggning förväntas producera över 140 miljoner Nm³ metan årligen. Värdekedjan som Green2x utvecklar börjar med att halm briketteras och därefter fermenteras. Den rågas som bildas uppgraderas med vätgas, som genereras vid energiöverskott, genom Sabatier-processen till E-metan. Den uppgraderade biometanen omvandlas sedan ytterligare till bio/E-metanol.

Det har däremot konstaterats att även om briketter har god uppsugningsförmåga som strömaterial är det ett större arbete med briketter som strö än pellets (Johansson 2012). Detta

för att briketterna oftast levereras i storsäck och behöver sönderdelas innan de fungerar som bra strömaterial i stall. I samma rapport konstateras det även att fastgödsel med halmpellets är något mer lämpligt för biogasproduktion än fastgödsel med halmbriketter. Därför har värdekedjor med brikettering i stället för pelletering inte beaktats i detta projekt. Som referens finns dock kostnads- och energiuppskattningarna för de två olika processerna med i Bilaga 3.

4.1.7 Strökonsument

Strö används vid djurhållning för att öka bland annat bekvämlighet och hygien för djuren men också för att det kan ge viss sysselsättning. I samtliga värdekedjor för pelletstillvekningen har strökonsumenten uteslutits ur den teknoekonomiska analysen. Detta för att det finns så många olika typer av djurhållning (exempelvis häst och höns) där strö skulle kunna vara aktuellt och att det därför är svårt att uppskatta de genomsnittliga effekterna på strömets egenskaper efter att ha använts. Därför bortses detta steg från den teknoekonomiska analysen och kostnaden samt energiåtgången presenteras som tillverkningen av 1 kg TS strö. Hanteringen efteråt, med biogasproduktion hanteras separat och beskrivs i sektion 2.3.8 där även flytgödsel inkluderas i biogasanläggningen.

4.1.8 Biogasanläggning med uppgraderingsanläggning

En biogasanläggning för rötning av gödsel och halm kan utformas på olika sätt. Här har vi tänkt oss en anläggning med toppmonterade rötkammare och efterrötkammare med dubbelmembrantak. För att hantera gödsel och halm, vägkantsgräs och vass i de volymer som krävs för att uppnå skalfördelar utgår vi ifrån en uppehållstid på lite mindre än 60 dagar.

Vi förutsätter två huvudrötkammare på vardera ca 9 000 m³ aktiv vätskevolym. Rötningstemperaturen avses bli cirka 46 °C, vilket är optimal temperatur enligt senaste forskning och erfarenhet. Rötkamrarna är försedda med omrörningssystem i form av en toppmonterad omrörare. För att nå ytterligare utrötning pumpas materialet från huvudrötkamrarna till två efterrötkammare på vardera ca 4 500 m³ där ytterligare utrötning och gasproduktion sker. Efterrötkamrarna kan användas för hygienisering av allt rötat material. Det traditionella sättet att hygienisera är att värma upp materialet till 70°C och hålla den temperaturen i en timma. Ett alternativ är dock att värma materialet till 52 °C och hålla den temperaturen i 10 timmar och den typen av hygienisering kan användas här.

Från efterrötkamrarna pumpas hygieniserat material (biogödsel) till en utlastningsbrunn. Biogödseln kyls med värmeväxling vid utpumpningen. För att ytterligare sänka temperaturen, minska biologisk aktivitet och återvinna mer värme kan en värmepump användas. Ett buffertlager på cirka 5 000 m³ för biogödsel kan behövas. Transportfordon hämtar biogödsel från antingen utlastningsbrunnen eller från buffertlagret för vidare transport till kund.

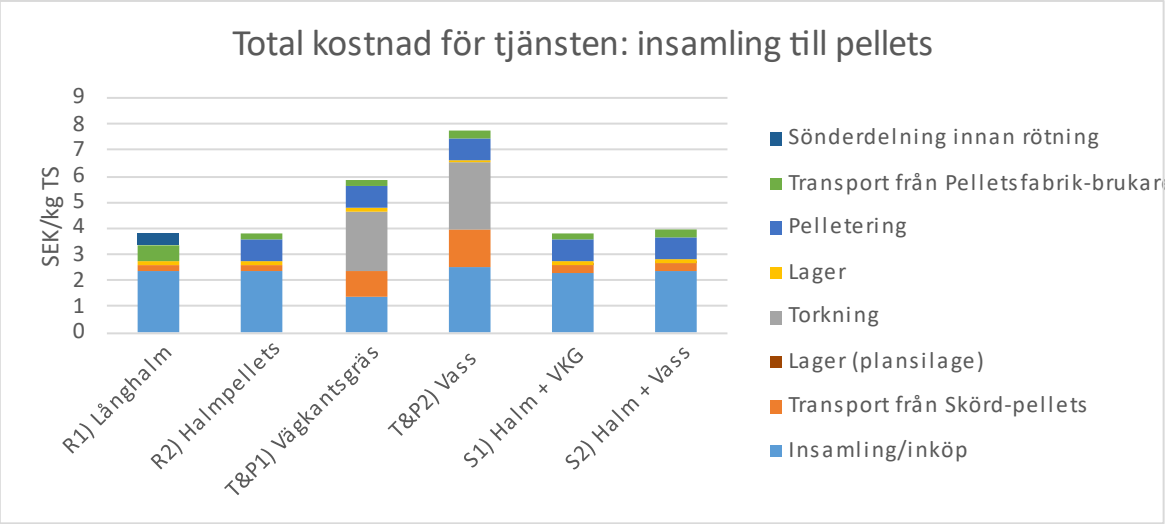
Biogasanläggningen kräver värme för att den biologiska processen ska fungera. Värmen avses produceras med en fliseldad panna med en ackumulatortank för utjämning mellan momentan produktion och momentant behov. Som redundans, för planerade eller oplanerade avbrott i flispannan, installeras en biogaseldad panna. Störande lukt kan uppkomma från bland annat mottagnings- och inmatningstankar samt från substrathantering i processhall. Frånluft från dessa enheter samlas upp med hjälp av en fläkt och leds till en utrustning för luktreducering. Olika alternativ finns för behandling av luktstörande ämnen. I detta fall avses luften utnyttjas som förbränningsluft till flispannan, men det kan bli aktuellt att även installera ett barkfilter för redundans.

All biogas från anläggningen uppgraderas till biometankvalitet och matas ut på naturgasnätet. Uppgraderingen, det vill säga avlägsnande av merparten av koldioxiden i biogasen liksom andra ämnen i gasen som exempelvis svavelväte, kan genomföras med hjälp av olika typer av uppgraderingsprocesser så som exempelvis PSA (Pressure Swing Adsorption), vattenskrubber, aminskrubber och membranseparation. Efter uppgradering, som antas vara av typen membran, samlas biogasen upp i en mindre trycktank som fungerar som buffert mellan uppgradering och efterföljande inmatning till gasnätet.

4.2 Åker/vägkant/våtmark → brukare av strö

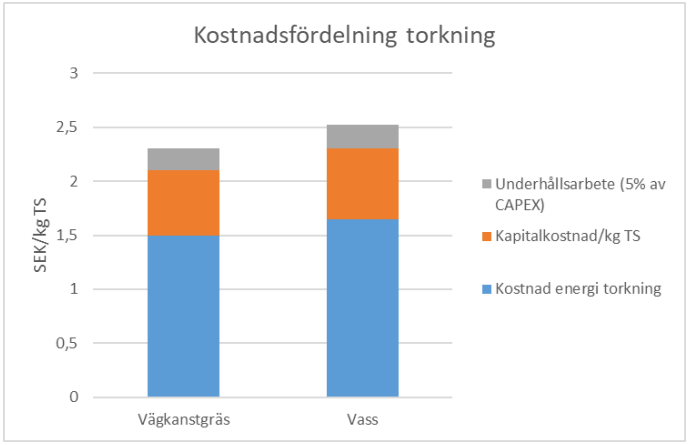
Den teknoekonomiska analysen för ströproduktion bygger på det dataunderlag som presenteras i Bilaga 2, vilket i huvudsak utgörs av litteraturdata som verifierats och kompletterats genom samtal med projektpartners. Kostnader och investeringar har beaktats som om de sker på en befintlig anläggning/jordbruk som investerar i ytterligare utrustning. Den fasta utrustning som tillhör pelletshanteringen och lager är nya investeringar men kringutrustning för att hantera logistik på gården, exempelvis traktorer och lastare, är befintlig. Underliggande kostnadsdata har justerats till 2023 års prisnivå med KPI (Konsumentprisindex). Investeringskostnader har skalats till de kapaciteter som är relevanta i föreliggande projekt med skalfaktor 0,6.

Beräknade totalkostnader för produktion av strö genom de utvärderade värdekedjorna presenteras i Figur 14. Samtliga värdekedjor utan torkning når liknande produktionskostnaderna, medan kostnaderna blir betydligt högre i värdekedjorna med torkning.



Figur 15. Kostnaden för inköp, insamling, tillverkning och transport av pellets eller långhalm som kan användas som strö för de olika värdekedjorna. R1 och R2 är "Referensvärdekedjorna" med långhalm respektive halmpellets, T&P1 och T&P2 är "Torkning och Pelletering" värdekejan med vägkantsgräs respektive vass, S1 och S2 är "Sampelletering" värdekedjorna med halm och vägkantsgräs (VKG) respektive vass.

Tittar man närmare på torkningen av vägkantsgräs och vass så ser man att kostnaden domineras av energikostnaderna för torkningen, se Figur 15. Skördetekniker/skördetider som minimerar vatteninnehåll i vassen samt effektivare torkning skulle kunna minska kostnaderna väsentligt. Detta undersöks närmare i känslighetsanalysen i sektion 4.2.1.

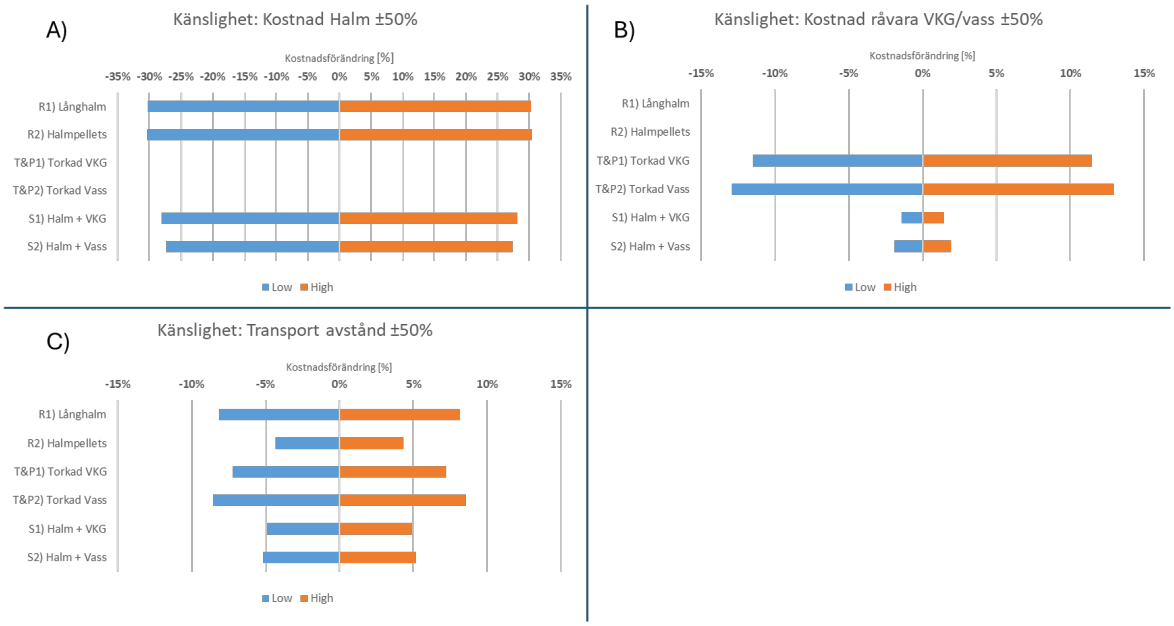


Figur 16. Kostnadsfördelning av torkningen som görs i värdekedjan "torkning och pelletering" med antingen vägkantsgräs eller vass.

4.2.1 Känslighetsanalys av pelletsproduktion

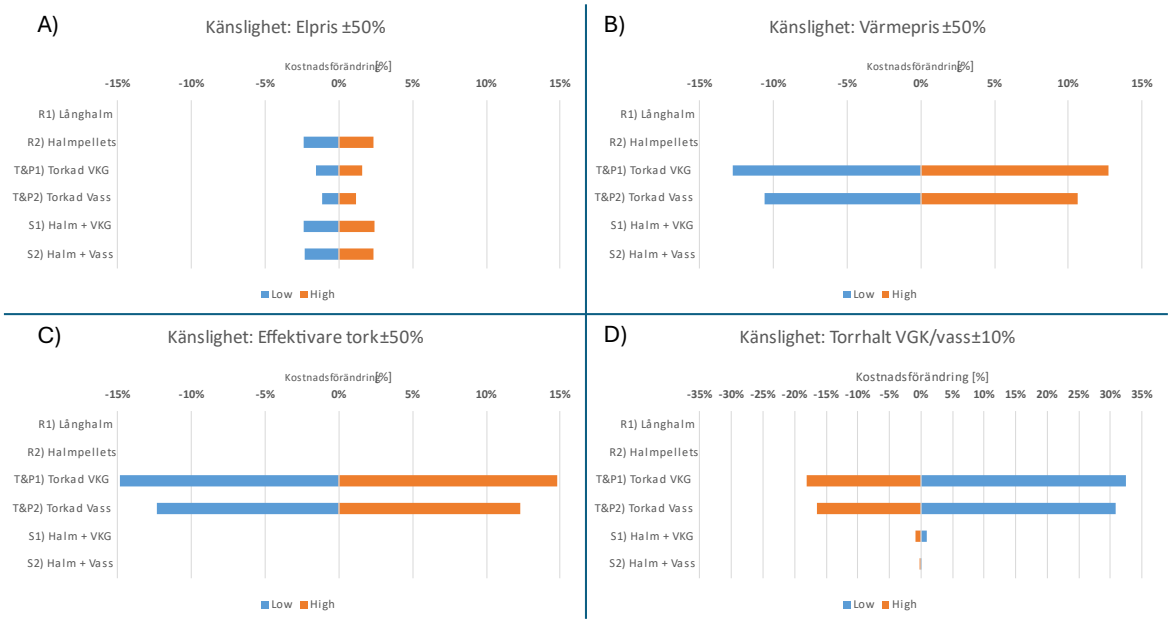
Känslighetsanalysen bygger på att undersöka en enskild eller en grupp med kopplade kostnadsparametrar med en variation på ±50% från utgångsvärdet för att se hur den totala kostnadsbilden påverkas. Detta ger en indikation av vilka kostnadsparametrar som är känsligast och som man bör optimera före de parametrar som ger mindre effekt på den totala kostnaden. Effekten på totala kostnaden anges som en procentsats utifrån grundkostnaden som beräknades för värdekedjan. Kostnadsförändringarna är därför inte additiva mellan olika känslighetsanalyser.

I Figur 16 presenteras tre känslighetsanalyser som är relaterade till kostnaden och transporten av råvarorna. Här går det att konstatera att kostnaden för halm har mycket stor effekt på slutpriset för båda referensfallen och fallen med sampelletering. Kostanden för vägkantsgräs och vass har mindre effekt på totalpriset jämfört med halm, speciellt vid sampelletering. Känslighetsanalysen för transportavstånd relaterar till både transport vid låg densitet (löst packat vägkantsgräs/vass), medeldensitet (balad halm) samt hög densitet (pellets) och visar störst effekt på de värdekedjor som har mer transporter vid låg/medel densitet (R1-Långhalm, T&P1-Torkat och pelleterat vägkantsgräs, T&P2-Torkad och pelleterad vass).



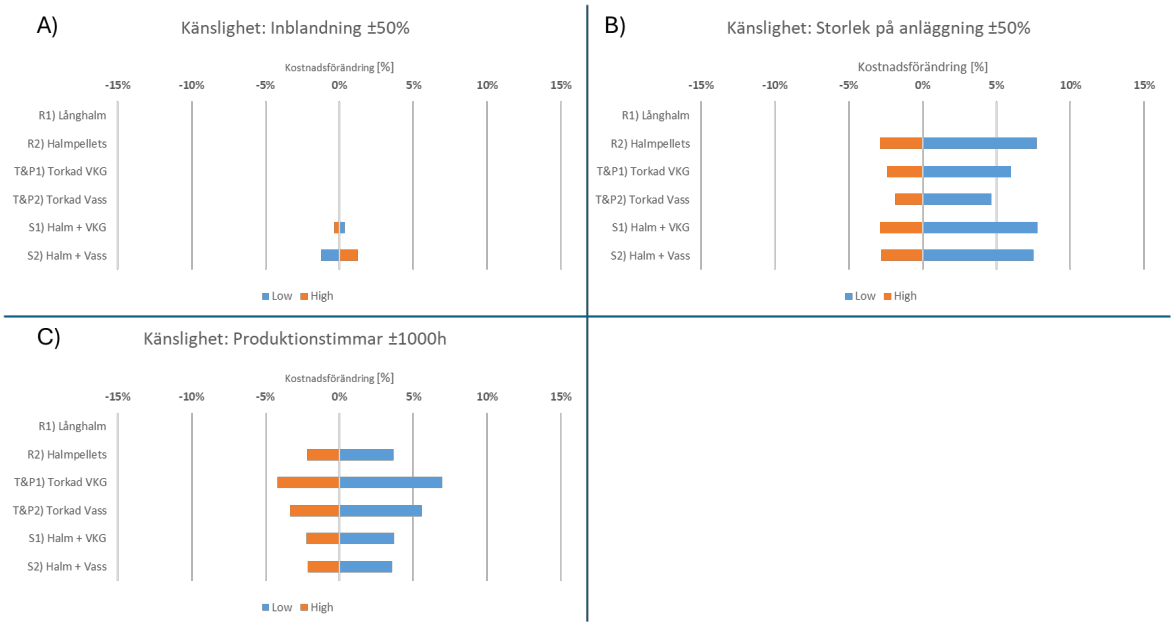
Figur 17. Känslighetsanalyser för parametrar som är relaterade till råvarans beskaffenhet: inköpspris och transportavstånd. Notera att A) är i en annan skala jämfört med B) och C).

I Figur 17 presenteras effekter som är relaterade till energi. Här går det att se att kostnaden för elektricitet har mindre effekt på hela värdekedjan för samtliga fall jämfört med värmekostnaden vid torkning. I detta avseende är värdekedjan Torkning och Pelletering mest känslig för prisskillnader för värme samt effektiviseringar för torken. Effektiviseringar för torken i denna analys inkluderar både energiåtgång för vattenavdrivning samt torkens överkapacitet. I paritet med detta har också vägkantsgräsets/vassens torrhalt stor effekt på slutpriset. Detta tillsammans indikerar att det finns stor potential att minska på totala kostnaderna för värdekedjan ”Torkning och pelletering” om torkningen kan effektiviseras och råvarans vattenhalt minimeras.



Figur 18. Känslighetsanalyser relaterat till energi; priser för elektricitet, värme och effekter av effektivare tork eller förändring av torrhalt på ingående råvaror (±10% torrhalt i absoluta belopp). Notera att D) är i en annan skala än A), B) och C).

I Figur 18 presenteras känslighetsanalyser relaterade till pelletsanläggningen. Här går det att konstatera att ökad eller minskad inblandning av vägkantsgräs eller vass (20% ± 10%) har relativt liten effekt på totala kostnaden för värdekedjorna med sampelletering. Det finns även storleksfördelar och samt fördelar av ökat antal produktionstimmar så att man kan nyttja kapitalinvesteringen bättre.



Figur 19. Känslighetsanalyser relaterat till produktionsanläggningen; inblandning av vägkantsgräs/vass till sampelletering, produktionsanläggningens totala kapacitet och aktiva produktionstimmar för pelletsanläggningen.

4.3 Biogasproduktion

Anläggningen är dimensionerad för en produktionskapacitet på ca 30 GWh per år (motsvarande 3 000 000/2 150 000 Nm3/kg metan). Som tabell 4 visar så behandlas likvärdig mängd flytgödsel vid samrötning med olika blandningar av förbehandlad och inte förbehandlad halm, vägkantsgräs och vass för att nå den totala produktionskapaciteten på 30 GWh/år. Som kan utläsas i tabell 14 behövs det större inblandning av halm för de alternativen med ej förbehandlat material.

Uppehållstiden för de 5 alternativen är ca 56 dagar där skillnaden är hur mycket halm, vägkantsgräs eller vass som behövs för att uppnå dimensionerad produktionskapacitet. TS halten är ca 10 % och lagd på en nivå som ska motsvara en våtrötningsanläggning som kan hantera fasta substrat ihop med flytande substrat.

Tabell 4. Sammansättning av substrat för en samrötningsanläggning där de olika alternativen är olika sammansättningar av torra substrat. Två referenser som är med rena halmsubstrat samt tre alternativ med olika sammansättningar av torra substrat där vägkantsgräs (VKG) och vass är inblandat. Substratmängden torr substans är anpassad för att uppnå total produktionskapacitet på 30 GWh samt total torrsubstans under 10 %.

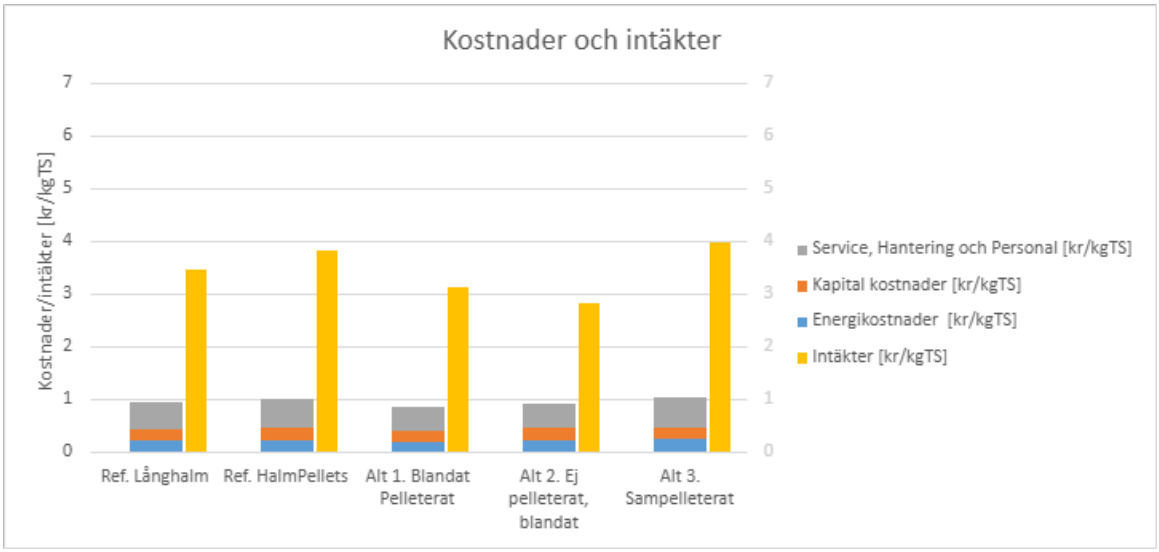
	Ref Långhalm	Ref Halmpellets	Alt 1. Blandat Pelleterat	Alt 2. Ej pelleterat, blandat	Alt 3. Sampelleterat
Flytande grisgödsel (ton/år)	77 500	77 500	77 500	77 500	77 500
Flytande kogödsel (ton/år)	77 500	77 500	77 500	77 500	77 500
Långhalm (ton/år)	2 600	-	-	1 800	-
Halmpellets (ton/år)	-	2 300	900	-	-
Pelleterad Torkad VKG (ton/år)	-	-	900	-	-
Pelleterad Torkad Vass (ton/år)	-	-	900	-	-
Färsk VKG (ton/år)	-	-	-	1 800	-
Färsk Vass (ton/år)	-	-	-	1 800	-
Sampelleterad Halm+VKG (ton/år)	-	-	-	-	1 120
Sampelleterad Halm+Vass (ton/år)	-	-	-	-	1 120
TS (%)	9,3%	9,2%	9,4%	9,4%	9,1%
Produktions kapacitet (GWh/år)	30,2				

Kostnaderna för produktion av biogas, uppgradering till biometankvalitet och inmatning till naturgasnätet har fördelats på 1) energikostnader, 2) kapitalkostnader och 3) service, hantering och personal. Dessa har sedan viktats för att representera en kostnad per kg TS halm, vägkantsgräs eller vass.

Kostnad för energi är beroende av el och värmebehovet där priset är satt till 1,3 respektive 1 kr/kWh. Kapitalkostnaden är baserad på investering i likvärdig anläggning för alla

alternativ med en antagen kalkylränta på 8 %. Kostnaden för service, hantering och personal är baserad på att anläggningen sköts och underhålls av personal på plats, slitdelar byts ut samt att biogödselhanteringen också inkluderas.

Intäkterna är baserade på såld mängd biometan (20 kr/kg biometan exklusive moms) som har viktats till en intäkt per kg TS halm, vägkantsgräs eller vass. Det innebär att de alternativ som ger mer biometan per kg TS substrat också får en högre intäkt.



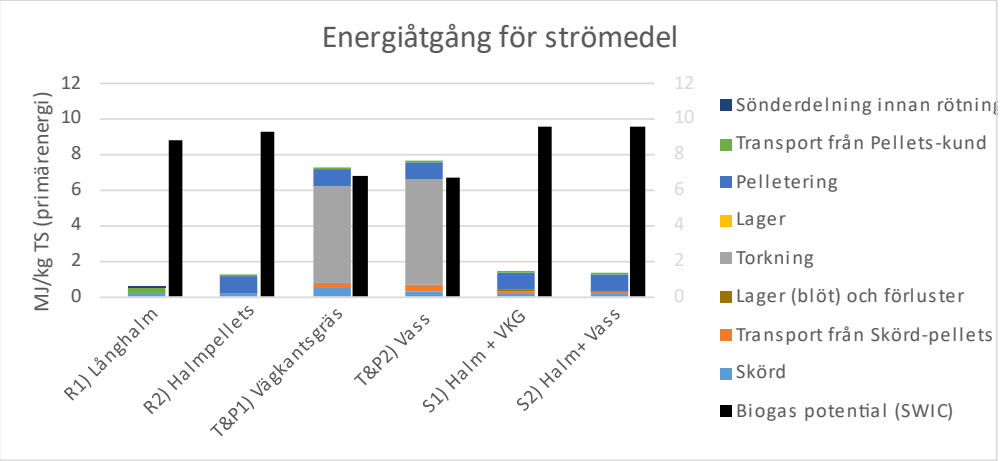
Figur 20. Kostnadsuppskattningar för biogasproduktion och uppgradering med olika sammansättningar av torra substrat. Här jämförs två referenser med rena halmsubstrat samt tre alternativ med blandning av halm, vägkantsgräs och vass där materialet har pelleterats (alternativ 1), ej har pelleterats (alternativ 2) eller har sampelleterats (alternativ 3).

Som Figur 19 visar så är kostnaden relativt likvärdig och ligger på ca 1 kr/kg TS medan intäkten ligger på 3–4 kr/kg TS. Referenserna långhalm och halmpellets ger båda positivare resultat än alternativ 1 och 2 medan alternativ 3 som är en blandning av sampelletera påvisar högst resultat. Alt 3 uppvisar en intäkt på 4 kr/kg och kostnad på 1 kr/kg vilket ger ett resultat på ca 3 kr/kg.

4.4 Energianalys av delsteg i värdekedjan

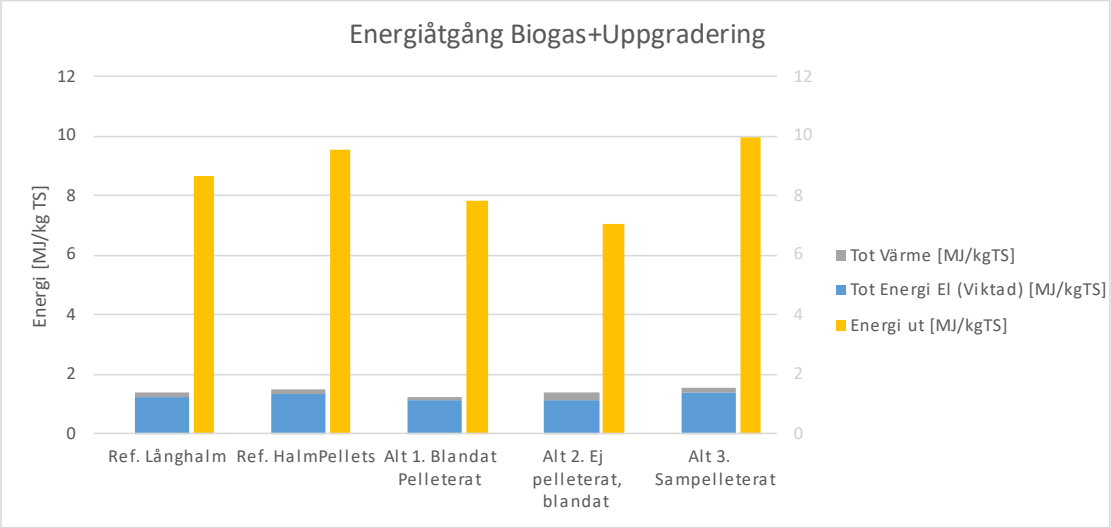
Energiåtgången i varje del av värdekedjan kan jämföras med den energipotential i biogas som de olika substraten uppvisar (Se sektion 3.4) vilket kan iakttas i Figur 20**Error! Reference source not found.**. Här har elanvändning räknats om till primärenergi med en omvandlingsfaktor på 2,5. I Figur 20 går det att se att de värdekedjor som inte kräver

torkning har mycket låga energiinvesteringar jämfört med de värdekedjor som kräver torkning.



Figur 21. Energiåtgång för produktion av strömedel i förhållande till dess biogaspotential. Biogaspotential för Sampelleterad halm+vass är antaget samma som för Sampelleterad halm+VKG (vägkantsgräs). Här jämförs två referenser med rena halmsubstrat (R1 och R2) samt tre alternativ med blandning av halm, vägkantsgräs och vass där materialet har torkats och pelleterats (T&P1; T&P2) eller har sampelleterats (S1 & S2).

En uppskattning av energiåtgången för de olika substratalternativen för biogasproduktion och uppgradering som anges och beskrivs i sektion 4.3 går att se i Figur 21**Error! Reference source not found.**. I figuren går det att se att skillnaden i energiinsatsen för respektive alternativ är minimal. Den största skillnaden är den mängd biogas som kan produceras från de olika substraten (energi ut).



Figur 22. Energiåtgång för samrötning och uppgradering för en 30 GWh biogasanläggning med olika sammansättningar för torra substrat av halm, vägkantsgräs och/eller vass. Här jämförs två referenser med rena halmssubstrat samt tre alternativ med blandning av halm, vägkantsgräs och vass där materialet har pelleterats (alternativ 1), ej har pelleterats (alternativ 2) eller har sampelleterats (alternativ 3).

Energiinsatsen är låg jämfört med den biogaspotential som går att utvinna, men här räknas inte energiinvesteringen för råvaran liksom transporter. Trots detta så finns det god marginal energimässigt för att hantera substraten så länge som ingen torkning sker av substraten vilket förbrukar stora mängder energi.

5 Motivering av värdekedjan

5.1 Målkonflikter

Olika intressenters mål kring hur landskapet bäst utnyttjas kan leda till målkonflikter som tvingar fram avvägningar och prioriteringar. Målkonflikter som kan uppstå i detta sammanhang relateras till behovet av biomassa som energi och material samt behovet av hållbara åkermarker och matproduktion. Det vill säga behovet av halm för djurproduktion, förbränning, kolkälla till åkermark och användning hos bioraffinaderier i förhållande till tillgänglig mängd halm och om en viss mängd kan ersättas med vägkantsgräs och vass. Tabell 5 visar de målkonflikter och nödvändiga avvägningar som identifierats i litteraturundersökningen.

Tabell 5. Sammanfattning av målkonflikter och eventuella avvägningar som måste göras

Målkonflikt	Avvägning
Halm som substrat till biogas *vs* återföra halm för att bibehålla/bygga upp åkermarkens mullhalt	- Begränsa halmuttaget till max 40% - Ett större halmuttag >40% kan ske under förutsättning att rötresterna återförs till åkern - Andra odlingsåtgärder, t.ex. odling av mellangrödor kan användas för att bygga upp markens organiska kol
Halm som substrat till biogas *vs* alternativ användning i jordbruket (strömedel, foder och fastbränsle)	- Halmuttaget begränsas till den mängd som inte har alternativ användning, för att undvika indirekta effekter från förändrad landanvändning
Halm som substrat till biogas *vs* lantbrukets behov av att använda pyralider för ogräsbekämpning	- Innebär en begränsning av halmtillgången men osäkert hur stor
Skörd av vägkantsgräs *vs* bevarande av biologisk mångfald	- Generellt gynnas florans diversitet av att skördas 1–2 ggr/år - Senare skörd påverkar biogasutbytet negativt - Skördeaggregatets påverkan på insekter är inte tillräckligt undersökt - Om klippt material ej får ligga kvar och torka i vägkanten riskerar fröbanken att utarmas

Skörd av vägkantsgräs *vs* bevarande av biologisk mångfald/spridning av invasiva arter	- Tillräckligt hög temperatur vid rötning och efterföljande kompostering för att undvika spridning av t.ex. lupin
Skörd av vass vs bevarande av biologisk mångfald	- Skörd av vass har positiv miljöpåverkan genom bortförsel av närsalter - Bevarande av vass i olika ålder gynnar växt- och djurliv.

5.1.1 Halm som substrat till biogas vs halm som kolkälla i åkermark

Skörderester är en del av jordbrukets kolcykel och bortförsel av halm efter skörd kan på sikt innebära en minskning av jordens innehåll av organiskt material och av kol. Nedbrukning av halm i jorden efter skörd bidrar till att öka innehållet av organiskt material och näringsämnen vilket minskar behovet av mineralgödselmedel och stallgödsel, ökar jorden vattenförhållande förmåga och förebygger jorderosion. En bibehållen halt av organiskt material är en förutsättning för jordens bördighet och förmåga till god avkastning. I ett långliggande försök på SLU ökade avkastningen för majs med 16 procent för varje procentenhet organiskt material i jorden (Kätterer och Bolinder, 2024). Resultatet förklaras till största del bero på mullhaltens positiva påverkan på matjordens struktur och vattenhållande förmåga. Förutom att tillförsel av kol ökar jorden bördighet, kan matjorden vara en del av lösningen för att absorbera en del antropogena utsläpp av växthusgaser. Detta är i linje med ett internationellt åtagande att öka jordarnas innehåll av organiskt material med 0,04% per år, vilket lanserades av Frankrikes jordbruksminister vid COP21 i Paris 2015.

För att bedöma hur åkermarkens bördighet påverkas i en situation då halmen används för biogasproduktion, är det viktigt att reda ut vilken betydelse bortförsel av halm till åkern har för matjordens innehåll av organiskt material. Även om alla skörderester behålls på åkern visar modelleringar att det på sikt inte räcker för att bibehålla jordens innehåll av organiskt material och därför krävs även andra åtgärder för att matjorden ska bibehålla sin bördighet och kunna agera kolsänka (Stella et al., 2019). Långtidsförsök under svenska förhållanden har visat att odlingsmarkens kolinnehåll minskar med 400 kg C per hektar och år om ingen växtnäring, skörderester eller annat organiskt material tillförs. Genom att återföra halm (4,21 ton per hektar och år) kunde denna förlust till viss del kompenseras (Kätterer et al., 2011). Långliggande växtodlingsförsök visar att nedbrukning av halm efter skörd bidrar till

en något högre kolhalt i marken, några tiondels procent, jämfört med om halmen förs bort (Mattsson och Larsson, 2005). Hur mycket av halmen som bör lämnas på åkern för att bibehålla matjordens hälsa beror på jordmån, klimatfaktorer och odlingssystem, men många experter menar att ett halmuttag på maximalt 40% är en hållbar begränsning för spannmålsodling (Spöttle et al., 2013). Enligt hållbarhetslagen §8 (Lag 2010:598) krävs en uppföljning av markens kollager när restprodukter från åkern används till biogas, och då behöver man titta på odlingsåtgärder som kan kompensera för det kol som förs bort med halmen. Odling av mellangrödor bidrar till att öka markens innehåll av kol och har en positiv klimateffekt när den skördas och används som substrat till biogas då det minskar markens lustgasavgång och ersätter fossilt bränsle (Nilsson et al., 2024).

Återförsel av halm till åkern är alltså en åtgärd som bidrar till att behålla eller t.o.m. öka markens mullhalt. Om halmen tas tillvara för att producera biogas istället för att myllas ned direkt efter skörd, blir rötresternas förmåga att bidra till matjordens innehåll av organiskt material en viktig faktor. I rötningsprocessen kommer de komplexa kolföreningar som är resistenta mot nedbrytning under syrefria förhållanden att öka i andel i rötresterna jämfört med innehållet i ursprungsmaterialet. Det har betydelse för markens organiska kolinnehåll då det innebär en minskad mineralisering av kol när rötrester återförs till åkern som biogödsel jämfört med obehandlad gödsel. Enligt Möller et al. (2015) visar flera studier att markens kolhalt är lika hög vid tillförsel av rötrester som vid tillförsel av obehandlad gödsel. Den förlust av kol som sker under rötningsprocessen kompenseras av att rötresternas kolföreningar förblir mer resistenta mot nedbrytning i marken. Enligt Thomsen et al. (2013) har förbehandlingen av växtbiomassa liten inverkan på hur mycket kol som lagras i marken på lång sikt. Oavsett om biomassan återförs till åkern som gödsel, rötrest eller färskt material kommer lika mycket kol att lagras i marken. I ett fältförsök i Tyskland där odlingsmarken tillfördes två olika sorters rötrester, ökade förekomsten av svårnedbrytbara kolföreningar i jorden samtidigt som de lättnedbrytbara kolföreningarna minskade (Jandl et al. 2023). I försöket noterades ingen eller en liten negativ effekt på den totala mullhalten i jorden sex månader efter att rötrester tillförts, vilket förklaras med att rötrester har en gödslande effekt genom sitt innehåll av lättillgängliga näringsämnen och kan öka markens mikrobiella omsättning och mineralisering. Liknande resultat erhölls i ett fyra-årigt fältförsök där tillförsel av rötrester och nötflyt inte bidrog med en ökning av markens mullhalt jämfört med kontroll eller NPK-gödsel (Barlog et al. 2020). En livscykelanalys visade en positiv effekt på balansen av växthusgaser av en övergång från att bruka ner halmen direkt i fält till att använda den för biogas och återföra rötresterna till åkern. Biogasens ersättning av fossila bränslen och uppbyggnaden av organiskt material i åkerjorden bidrog till en nettominskning av växthusgasutsläpp (Buchspies et al. 2022). Enligt dessa studier kan gödsling med rötrester bidra till att upprätthålla markens innehåll

av kol, men det är osäkert om tillförseln bidrar till en uppbyggnad av kol i marken. En fransk modellstudie undersökte den långsiktiga påverkan på kolinlagringen vid återförsel av olika sorters biobaserade restprodukter. Den visade att när all halm togs i anspråk för biogas och alla rötrester återfördes till åkern bibehölls nätt och jämnt markens mullhalt under en hundraårsperiod. Resultatet varierade mellan olika undersökta områden, för hälften av de undersökta regionerna noterades en liten ökning i mullhalt jämfört med alternativet att lämna kvar all halm i fält, medan i 40% av regionerna noterades en liten minskning av mullhalten (Diaz et al. 2023). I studien dras slutsatsen att under förutsättning att rötrester förs tillbaka till åkern, är en begränsning av halmuttaget onödig då den minskar tillgången på biomassa för energiproduktion och endast i liten utsträckning påverkar markens kolinlagring.

5.1.2 Halm som substrat till biogas vs alternativ användning av halm

Potentialen för biobränslen från lantbrukets restflöden är begränsad och konkurrerar med andra användningsområden, främst som strömedel inom djurproduktion och organiskt substrat för jordförbättring. Tillgången på halm varierar mellan åren och under torra år råder det ofta brist på halm och höga priser, dels på grund av dålig tillväxt på spannmålsgrödan och på grund av att flera bönder då tar in helsädsensilage som foder (LRF 2023). Under dessa år ser sig många lantbrukare om efter alternativ till halmen som sand och torvströ. Ökad efterfrågan på råmaterial för biogas kan även leda till förändrad markanvändning och ökade utsläpp av växthusgaser till atmosfären. Om till exempel en ökad efterfrågan på halm innebär att priset går upp, kan det leda till att djurägare hellre väljer torv som strömmedel vilket kan orsaka ökade utsläpp då torv är en fossil resurs. Om halmen som används som foder tas i anspråk för energiproduktion måste bortfallet kompenseras genom att mer foder produceras på andra marker. Biobränslen som produceras av restprodukter kan vara väldigt klimatvänliga i jämförelse med fossila bränslen, men de är inte nödvändigtvis fria från indirekta effekter som uppstår på grund av förändrad markanvändning. För att säkerställa att uttaget av halm som råvara för produktion av biogas är hållbar och inte leder till indirekta negativa effekter, kan ett uttag av halm begränsas till den mängd som inte användas på något annat sätt utan bara lämnas kvar på åkern.

Totalt odlades spannmål på 1 005 800 hektar och oljeväxter odlades på 122 600 hektar år 2023. På 40 procent av denna areal tas halmen tillvara och på 54 procent brukas halmen ned i åkern efter skörd. Halmen som tas till vara användes huvudsakligen som strömedel i

djurproduktion (73 %), som foder (13 %) och till uppvärmning (9 %). Halm används för biogas endast i en begränsad utsträckning. Halmen från oljeväxtodling brukas till största del ned efter skörd (SJV, 2013). Med hjälp av länsvis medelavkastning för spannmålsgrödor och kärna:strå-kvoter beräknade Nilsson och Bernesson (2009) tillgången på halm i Sverige för energiutvinning till 2,9 miljoner ton/år. En del av denna halm tas inte tillvara på grund av spill, att den får ligga kvar i fält på grund av dåliga väderförhållanden, eller för att få upp mullhalten i jorden. Andelen halm som kan bärgas uppskattades med hjälp av bärgningskoefficienter (Nilsson och Stridsberg, 1992) för olika spannmålsslag och regioner, och den totala bärgningsbara mängden halm blev då 2,0 miljoner ton/år. När mängden halm som används som strömedel i djurproduktionen drogs bort återstod ett halmöverskott på 830 000 ton. Det är denna mängd som kan nyttjas till biogas utan att konkurrera med andra användningsområden. I dessa beräkningar har man utgått ifrån att en tredjedel av hästarna använder annat strömedel än halm och att hälften av alla unga nötkreatur går på spaltgolv utan något strö. Ett överskott av halm fanns i slättlandskapen i södra och mellersta delen av landet medan flera län i andra delar av landet uppvisade ett halmunderskott. I en annan studie uppgick mängden halm från spannmål och oljeväxter som kan tas tillvara för att användas som råmaterial till biogas till totalt 1 157 000 ton, motsvarande 1 TWh (Prade et al., 2017). Studien utgick från att 47 % av den halm som inte gick åt till djurproduktionen skulle kunna bärgas utan att konkurrera med annan användning eller minska jordbruksmarkens bördighet. Dessa två studier har inte beaktat biogödselns effekt på markens kolinlagring, och därför skulle mängden halm som är tillgänglig för biogas vara större än vad dessa studier visar. EU-projektet S2BIOM kom fram till en något högre siffra, 2 miljoner ton halm från spannmål och oljeväxter år 2030 beräknade de som ett möjligt uttag i Sverige i enlighet med gällande regelverk (Dees, Datta et al., 2017).

5.1.3 Halm som substrat till biogas vs lantbrukets användning av pyralider

Pyralider (klopyralid, aminopyralid och pikloram) förekommer som aktiva substanser i flera vanliga bekämpningsmedel mot örtogräs för kommersiell odling av bland annat stråsäd, majs och sockerbetor. Då pyralider bryts ned långsamt - de passerar opåverkade genom djurens matsmältning och står emot kompostering och rötning - kan de spridas med halm och gödsel från gårdar som besprutar sina grödor med dessa bekämpningsmedel. Särskilt i halm som inte brukas ned i jorden sker nedbrytningen långsamt (Almvik et al. 2024). Organiska gödselmedel och jord med tillsatser från svenska gårdar har visat sig innehålla rester av pyralider vilket ställer till problem för odlare då flera grödor visat tecken

på pyralidförgiftning efter användning av sådana gödselmedel. För gödselprodukter finns inget regelverk för vad de får innehålla, förutom när det gäller högsta tillåtna halt av kadmium och regler för smittspridning om animaliska råvaror ingår. Fritidsodlarnas riksorganisation fann innehåll av klopyralid i gödsel från ko-, häst-, får- och hönsgödsel samt i växtnäringsprodukter baserade på olika vegetabiliska råvaror från jordbruket (FRO 2022). Det finns få studier som visar innehållet av herbicider i kompost och rötrester, särskilt när det gäller pyralider (O'Conner et al. 2022). Kupper et al. (2022) fann rester av flera olika bekämpningsmedel i både kompost (17–160 µg per kg TS) och rötrest av mat- och trädgårdsavfall (28–251 µg per kg TS), men har inte specifikt angett några analysvärden för pyralider.

Med anledning av förekomsten av pyralider i gödsel och växtnäringsprodukter uppmanade EU vid förnyandet av ämnesgodkännandet 2021 att strama åt villkoren för användning av ogräsmedel innehållande pyralider och sedan dess har Kemikalieinspektionen utkommit med nya villkor för flera ogräsmedel baserade på aminopyralid, klopyralid och pikolram. Det innebär att halm och gödsel som innehåller halm behandlad med dessa ogräsmedel inte får bortföras från den egna gården för kompostering eller biogasproduktion, men kan användas som foder eller strö i det egna jordbruket (SJV 2024). I vilken omfattning denna åtstramning begränsar tillgången på halm som finns tillgänglig för pelletering och biogasproduktion beror på hur stor användningen av dessa preparat är i svenskt jordbruk. Enligt en växtodlingsrådgivare i Halland (personligt meddelande) är användningen av dessa preparat (t.ex. Ariana) utbredd särskilt i odling av konventionellt vårspannmål för att bryta resistensen för de vanligare ALS-preparaten. Kemikalieinspektionens försäljningsstatistik för bekämpningsmedel visar att det såldes 15 ton klorpyralid (verksamt ämne) till jordbrukare i Sverige, medan motsvarande uppgifter för aminopyralid och pikloram saknas. Men försäljningen för dessa två preparat har tidigare år endast varit i mindre volymer. Om man utgår ifrån en hektarsdos på 40 g/ha verksamt ämne (baserat på rekommenderad dos för Ariane, 2,0 l/ha med koncentration klorpyralid på 20 g/l), skulle då den försålda mängden på 15 ton räcka till 375 000 ha stråsädsodling, vilket motsvarar 33 % av Sveriges totala areal för odling av stråsäd och oljeväxter på 1 106 900 hektar 2023. Preparatet kan även användas i vall men förmodligen i begränsad omfattning då många insådda vallar innehåller baljväxter. Baserat på denna grova uppskattning kan man ändå utgå ifrån att användningen av kloryralider är ganska omfattande i spannmålsodlingen.

5.1.4 Möjlighet att ersätta en del av halmen med skördat vägkantsgräs

I Sverige finns stora ytor av vägkanter och järnvägsbankar som både kan bidra med biologisk mångfald och biomassa till energiproduktion. Till exempel omfattar det statliga vägnätet närmare 100 000 km och uppsamling av putsade vägkanter kan därför bidra med betydande mängder biomassa. En grov uppskattning av potentialen för vägkantsgräs för produktion av biogas ligger på 0,5 till 1,5 TWh (Emilsson m.fl., 2024). Nyligen genomförda studier i Polen och Storbritannien visade att vägkantsgräs har ett utbyte av biogas i nivå med andra vanliga råmaterial som gödsel eller majsensilage (Brown and Ford, 2017; Czubaszek et al., 2024). Under 2020–2022 testade Trafikverket en metod för att skörda och samla upp vägkantsgräs för produktion av biogas och biogödsel på Söderslätt i Skåne (Emilson et al., 2024). Beräkningar baserat på detta försök visade att biogas från skördat vägkantsgräs kan mildra klimatpåverkan med 0,3 till 1,2 ton CO2-ekvivalenter per hektar vägkant och skördetillfälle, och energinettot för skörd och uppsamling jämfört med att bara putsa av gräset är positivt för avkastning mellan 0,5 och 1,75 ton TS/ha vägkant och skördetillfälle. Det finns en risk för att skräp och metall följer med vid skörd, men i Trafikverkets försök upplevde mottagaranläggningen inte att det var något problem med skräp, plast, burkar eller liknande. De stickprov som togs av Trafikverket i samband med skörd av biomassan visade att förekomsten av tungmetaller inte utgör något hinder för att använda biogödseln i jordbruket. Dock sätter ett högt innehåll av fosfor en övre gräns för hur mycket av biogödseln som får läggas på åkermark. Att skörda och ta tillvara vägkantsgräs verkar alltså vara lovande ur en miljöaspekt och skräp och föroreningar sätter inte stopp för användningen.

5.1.5 Tillgång och kostnad av vägkantsgräs

I en pilotstudie i Lincolnshire i Storbritannien angav biogasoperatörer att de var intresserade att använda vägkantsgräs som substrat med en maximal inblandning på 25 %. Inom en radie på 15 km från en biogasanläggning kunde 690 mil vägkant skördas på totalt 50 000 ton gräs. Operatörerna var beredda att betala mer än den beräknade kostnaden för skörd och transport av detta gräs (Brown och Ford, 2017). I Trafikverkets studie (Emilson, Nilsson och Svensson, 2024) beräknades kostnaden för skörden under ett helt år till 2,25 kr/kg levererad biomassa eller 9370 kr/ton ts. I deras rapport jämförs denna kostnad med kostnadsberäkningar som gjorts i andra pilotprojekt i Europa som varierar mellan 430 och 1350 kr/ton ts. Avkastningen i det svenska försöket var 1,5 ton ts/ha vilket kan jämföras med 2,0 till 3,2 ton ts/ha för de europeiska försöken. Man noterar att pilotprojektens olika förutsättningar och försökupplägg påverkat utfallet. En möjlighet som övervägts i dessa

studier för att säkerställa en jämn tillgång av biogassubstrat är att ensilera växtmaterialet, vilket i rötningsförsök har visat sig att inte ha någon påverkan på gasutbytet (Czubaszek et al., 2024).

5.1.6 Skörd av vägkantsgräs vs bevarande av biologisk mångfald

En förutsättning för blommande vägkanter är att biomassan slås av en till två gånger per år och förs bort så att tillförseln av växtnäring till marken minskar. Att skörda vägkanter efter blomning och ta hand om biomassan bör därför kunna gynna en rikare växtlighet till nytta för pollinatörer. I den uppföljning av biologisk mångfald som gjordes i Trafikverkets studie kunde man inte se någon skillnad i vägkantsfloran om växtligheten slogs med uppsamling eller om materialet slogs utan uppsamling och lämnades kvar (Emilson et al., 2024). Studien jämförde bara två efterföljande år och förmodligen krävs det flera års upprepning för att se någon effekt på förekomsten av arter. Sen skörd av gräset, gärna några veckor efter midsommar i södra Sverige, ger rik blomning under sommaren och möjlighet för örterna att hinna fröa av sig. Eftersom den skördade växtligheten kommer att forslas bort i samband med slåttern och inte ligga kvar och fröa av sig, är en sen skördetidpunkt än viktigare. Dock innehåller cellväggarna i sent skördat gräs högre halter av motståndskraftigt lignin vilket både minskar biogasutbytet och metanhalt, och för den sakens skull är tidigare grässkörd och kortare skördeintervall att föredra. En annan faktor att ta hänsyn till är slåttermaskinens kapacitet att hantera grovt växtmaterial. I Trafikverkets studie (Emilson m.fl., 2024) orsakade ett långt skördeintervall (vår och höst) problem då vedartade växter blev så grova att de fastnade i uppsugningsröret. Vid två skördar sommar och höst, eller tre skördar vår, sommar och höst uppstod inga sådana problem. En annan faktor som skulle kunna påverka den biologiska mångfalden är det sug som uppstår under slåtteraggregatet och som skulle kunna ta med sig insekter och frön. Om aggregatet vid slåttern suger upp flygande insekter kan vissa arter påverkas negativt. Det slåtteraggregat som Trafikverket använde i sin studie på Söderslätt uppgavs ha en relativt liten sugeffekt vilket minskar risken att få med sig insekter. Men studien inkluderade inte en inventering av insekter i de klippta vägkanterna och fler studier skulle behöva titta närmare på detta.

5.1.7 Skörd av vägkantsgräs vs spridning av invasiva arter

Vid skörd och användning av biomassa behöver man ta hänsyn till expansiva och invasiva arter som gärna växer i vägkanten, t.ex. blomsterlupin. Lupin är vanligt förekommande på torra och näringsfattiga marker och minskar förekomsten av dagfjärilar och växtdiversitet. Lupin har förmågan att sätta många små frön som är täckta med ett hårt skal som kan ligga vilande länge i jorden tills rätt förutsättningar för växten uppstår. Om inte skördad biomassa behandlas på rätt sätt kan arten lätt spridas till nya delar av landskapet. Kompostering och rötning av biomassa minskar effektivt lupinfrönas grobarhet, beroende på behandlingens längd och vilken temperatur som uppnås i processen. Men även efter fyra månaders kompostering vid en temperatur över 45°C kunde fortfarande en liten del av fröna gro, 0,7–0,9 % av lupinfrön var levande, 3,3–3,4 % vad vilande och 95,8–96 % var fördärvade. Motsvarande resultat för en 30-dagars mesofil rötning var fortfarande 0,5 % levande, 6,4 % vilande och 93,1 % förstörda (Hassani, 2021). Slutsatsen från studien är att om biomassa som innehåller frön från invasiv blomsterlupin ska användas är den säkraste metoden en kombination av anaerob nedbrytning och efterföljande kompostering. Även hönshirs (Echinochloa crusgalli) som har spridit sig i svenska odlingar på senare tid elimineras i rötningsprocessen. I ett rötningsförsök förstördes alla frön efter 30 dagar i mesofil rötning (37°C). Fröna är känsliga för hög värme och en upphettning till 50°C är tillräckligt för att döda av fröna (Dahlqvist, 2017), vilket talar för att pelleteringen är en effektiv metod för att hantera oönskade frön som finns halmen. Men fler försök krävs för att vara helt säker på att det är en effektiv metod i praktiken med stora mängder halm och en kortvarig uppvärmning.

5.1.8 Vasskörd och dess inverkan på växt- och djurliv

Vass har visat sig vara ett bra substrat både för produktion av biogas och som djurfoder. Den bidrar även med en miljönytta genom att binda näringsämnen som avlägsnas vid skörd och bidrar därmed till att minska övergödning i sjöar och hav. Vassen har en viktig roll i ekosystemen då det är ett viktigt uppväxtområde för många fiskarter, smådjur och häckningsområde för fåglar vilket innebär att skörd av vass påverkar livsbetingelserna för växter, insekter och fåglar. Studier i Europa visar att påverkan är liten ett eller två år efter att vassen skördats, men medför betydande negativa konsekvenser för växt och djurliv om skörden sker under längre tid (mer än fyra år i rad) (Valkama et al., 2008). Vasskörd under lång tid minskade antalet fåglar med 60% till följd av en förlust av skalbaggar, fjärilar och spindlar vilket påverkar fåglarnas möjligheter att finna föda. Vassens snabba tillväxt och utbredning trycker tillbaka andra växtarter, därför återfanns fler växtarter när vassen

skördades flera år i följd. Resultatet talar för att en begränsning av skörden är nödvändig, så att inte samma yta skördas år efter år. Även Andersen et al. (2021) visar att skördestrategin är viktig för djurlivet. I deras studie kom de fram till att nyligen skördade vassområden gynnade mängden insekter men att områden som inte skördats på 25 år uppvisade den största biologiska mångfalden. De föreslår därför att vassen skördas i omgångar så att det bildas en mosaik av vassbäddar med olika ålder. Även fisken kan påverkas negativt om vassen tas bort. En studie av kustekosystem i Östersjön visar att gäddor hellre uppehåller sig i vikar med ett rikt vassbestånd än i vikar med lite vass (Niemi et al., 2023). För att gynna återväxten av rovfiskar som gäddor är det alltså viktigt att behålla ett visst bestånd av vass i vikarna. Vass har alltså många fördelar för miljön men skörden bör ske i omgångar så att djurlivet gynnas.

5.2 Genomförbarhet

För att utreda styrkor, svagheter, möjligheter och hinder med att använda vägkantsgräs, vass och halm som substrat i biogasproduktion genomfördes en SWOT-analys. I SWOT-analysen deltog representanter från Södra Hallands Kraft, Laga Bioenergi, Halmstadtravet, Sveriges lantbruksuniversitet, Chalmers Industriteknik, IVL Svenska Miljöinstitutet och Högskolan i Halmstad. Deltagarna representerade en bredd av biogasintressenter; producenter och konsumenter, samt forskning och utveckling. SWOT-analysen genomfördes på en workshop den 2 december 2025 genom att deltagarna antecknade sina svar på 11 separata ark, vilket genererade totalt 40 styrkor, 31 svagheter, 32 möjligheter och 38 hot. En sammanställning av viktiga teman eller aspekter som ger en god representation av det fullständiga materialet redovisas i Figur 22.

Sammanställningen visar att de främsta styrkorna grundar sig i den outnyttjade potential av resurser som finns tillgängliga för att utveckla biogasproduktionen. Detta gäller dels de outnyttjade substratresurserna, dels att den utrustning som används skulle kunna nyttjas bättre året runt. Intressenterna ser också att det finns en tydlig avsättning för biogasen och även för rötresten (beroende på om dess kvalitet kan säkerställas). Detta i sin tur kan leda till marknadsutveckling och fler affärsmöjligheter som kan främja cirkulära resursströmmar och den biologiska mångfalden. Det uppfattas också som en styrka att befintlig teknik kan användas efter viss anpassning.

Anpassning av befintlig teknik ses dock också som en svaghet då det förknippas med kostnader kopplade till ombyggnation, men grundar sig också i att uppskalning av denna typ av substratanvändning kommer att behöva teknikutveckling och automatisering. Andra

svagheter relaterar till kostnader för hantering av substratet vid insamling, transport, torkning och annan förbehandling. Dessutom finns det osäkerheter kopplade till substrattillgång över året. Vidare kopplas svagheterna samman med bristande kunskap om substratens logistikkedjor vilket försvårar uppskattning av kostnader för produktionen. Slutligen lyfts en oro för att rötresten som bland annat kan användas som biogödsel på åkermark ska sprida invasiva arter och/eller gifter (t.ex. i form av pyralider). Denna oro leder i sin tur till en upplevelse av att det är osäkert om det finns avsättning för rötresten på marknaden.

Att använda vägkantsgräs, vass och halm som substrat i biogasproduktion leder till goda möjligheter att minska klimatpåverkan och gynna biologisk mångfald. Initiativet ses som en möjlighet till att vara med och bidra till en ökad resiliens och minskad miljöpåverkan inom jordbruket och framställningen av förnybar energi.

Dessutom identifieras den pågående återställningen av våtmarker som en möjlighet för att kunna skörda mer vass. Övergripande är målsättningen att kunna producera mer biogas och biogödsel bland de mest relevanta aspekterna, särskilt om det går att infria uppsatta miljömål samtidigt som lantbruket ges nya affärsmöjligheter. Affärsmöjligheterna kopplas samman med behovet av att främja marknaden för substrat, bland annat genom ett projekt där pellets från dessa substrat används som absorberande material för häst och smådjur innan det går in i biogasproduktionen, dessa nya typer av affärsidéer och innovationer kan dessutom skapa nya arbetstillfällen och främja den totala produktionen av förnybar energi.

För att denna typ av affärsmöjligheter ska kunna uppstå finns det dock hinder som först bör undanröjas. Först och främst upplevs lagstiftning och miljötillstånd som begränsande faktorer i biogasutvecklingen, detta då de kopplas samman med tids- och resurskrävande processer. För insamling av halm finns det dessutom styrmedel inom andra områden (t.ex. ersättning för kolinlagring om halmen plöjs ner) som motverkar insamlingen. Dessutom råder det brist på halm på vissa platser och där finns det mer högvärdiga användningsområden för halmen. Ett annat hot är den skepsis som finns kring att använda biogödsel med inblandning av halm, men också vägkantsgräs och vass, då det finns oro för spridning av gifter, skräp, tungmetaller och invasiva arter. Detta leder till att det kan vara svårt att komma vidare med idén om pelleterat strömedel till häst och smådjur. Slutligen lyftes även en oro för att systemet med att skörda vägkantsgräs och vass skulle hota den biologiska mångfalden, framför allt om skörden togs vid fel tid på året.

Styrkor	Svagheter
✓ Nyttja outnyttjade resurser (halm, vass, vägkantsgräs) ✓ Stor samrötningspotential då det finns mycket (häst)gödsel ✓ Utrustning som nu går halva året kan utnyttjas mer ✓ Öka och främja biogasproduktionen utan att konkurrera med matproduktion ✓ Existerande teknik och infrastruktur kan användas efter viss anpassning ✓ Pelletering möjliggör effektivare förbehandling och effektivare transporter ✓ Ökade användningsområden → högre förädlingsvärde → fler affärsmöjligheter ✓ Finns tydliga intressenter och konsumenter ✓ Skapa avsättning för nya reströmmar – främja cirkulär ekonomi	✓ Höga kostnader för hantering (insamling, transport, torkning) ✓ Brist på kunskap om logistikkedjor ✓ Nuvarande teknik och utrustning måste anpassas och byggas om ✓ Uppskalning kräver teknikutveckling och automatisering ✓ Begränsad tillgång på substrat över året ✓ Osäkerheter kring substratets kvalitet ✓ Behov av förbehandling ✓ Osäkerheter kring energibalanser ✓ Oro för spridning av invasiva arter och gifter (pyralider) ✓ Osäker avsättning på marknaden
Möjligheter	**Hot**
✓ Minska klimatpåverkan och gynna biologisk mångfald ✓ Att återställning av våtmarker genererar mer vass ✓ Möta behov av ökad resiliens och minskad miljöpåverkan ✓ Att producera mer biogas och biogödsel ✓ Att främja marknader för substrat ✓ Infriande av miljömål samtidigt som lantbruket kan ges nya affärsmöjligheter ✓ Arbetstillfällen skapas ✓ Positivt energinetto ✓ Skapa en marknad för pellets och absorberande material (för häst och smådjur)	✓ Lagstiftning och miljötillstånd som begränsar utvecklingen ✓ Styrmedel som motverkar (t.ex. att lantbrukare får ersättning för kolinlagring) ✓ Skepsisism mot att använda vägkantgräns (gifter och skräp) ✓ Synen på halm från lantbrukare och andra djurhållare, försvårar byte av strömedel ✓ Försämrad biologisk mångfald ✓ Spridning av invasiva arter och tungmetaller ✓ Halmbrist och andra mer högvärdiga applikationer för halmen

Figur 23. Sammanställning av SWOT-analys: Användning av vägkantsgräs, vass och halm som substrat i biogasprodukt

6 Slutsatser

- Litteraturen visar att halm kan användas som substrat för rötning till biogas utan att bidra till en minskning av åkerjordens mullhalt under förutsättning att biogödseln återförs till åkern. Om biogödseln inte återförs behöver halmuttaget begränsas eller kompenseras för med andra åtgärder, till exempel odling av mellangrödor.

- Olika studier uppskattar mängden halm som finns tillgänglig för bioenergi utan ILUC till mellan 830 000 ton och 2 000 000 ton våtvikt, beroende på olika antaganden för mullhaltsrestriktion. Användningen av pyralider i stråsäd innebär ytterligare en begränsning för användningen av halm till biogas då det påverkar biogödselns kvalitet.

- Att skörda och ta vara på vägkantsgräs är lovande ur miljösynpunkt och skräp och föroreningar bör inte sätta stopp för användningen. Att växelvis skörda vägkanterna med eller utan uppsamling skulle kunna motverka risken för att fröbanken och artrikedomen utarmas. Spridning av invasiva arter bör inte utgöra något problem då ogräsfrön med stor sannolikhet avdödas vid pelletering eller när rötresten hygieniseras. Ett kommande demonstrationsförsök skulle kunna inkludera groningstester och inventering av vägkantsflora för att få mer kunskap.

- Att skörda vass har miljöfördelar då närsalter förs bort från vattendragen samtidigt som en rikare flora gynnas. Skörd av vass bör dock ske så att vass av olika ålder får stå kvar för att inte ha en negativ inverkan på djurlivet.

- Någon statistiskt säkerställd skillnad mellan biogasutbyte för obehandlad och pelleterad halm respektive halm i kombination med vägkantsgräs kan inte visas i de genomförda utrötningsförsöken i denna studie. För vass respektive vägkantsgräs visar försöken i medeltal 50 % respektive 24 % högre metanproduktion per gram VS för de torkade och pelleterade varianterna. Trots utebliven ökning i biogasutbytet för pelleterad halm i kombination med vägkantsgräs kan pelletering ändå vara fördelaktigt av dessa substrat pga. en högre prestanda som strömedel (ökad uppsugningsförmåga) samt att gödsel blandad med sådan pellets förmodligen kan tas emot på ett betydligt större antal biogasanläggningar

utan att dessa behöver installera särskild mottagningsutrustning för fastgödsel.

- Den tekno-ekonomiska analysen visar att pelletsproduktion från 100 % vass eller vägkantsgräs blir mycket kostsammare än alternativen, detta på grund av den höga fukthalten vilken leder till höga energikostnader för torkning. Genom att blanda vass eller vägkantsgräs med halm kan dock torkbehovet undvikas.

- Blandade pellets visade sig vid genomförda försök fungera bra att tillverka (20 % vägkantsgräs eller vass + 80 % halm).

- Värdekedjorna för blandade pellets (20 % vägkantsgräs eller vass + 80 % halm) ger produktionskostnader för strö som är konkurrenskraftiga med ren långhalm/halmpellets.

- Produktionskostnader för biogas från använd strö är likvärdiga för alla värdekedjor.

- Vass och vägkantsgräs är till stor del outnyttjade resurser som kan användas till strömedel och biogassubstrat.

- I ett fortsättningsprojekt i större skala kommer en viktig del att vara att hitta möjliga intressenter i olika led i värdekedjan. Optimering av logistiken bedöms också viktig för att hålla nere kostnaderna.

7 Referenser

Almvik, M., Lang, L., Alsbirij, M., Enger, S., and McKinnon, K., 2024. Nedbryting av klopyralid under norske forhold i jord og planterest. NIBIO rapport (10) 112. Norsk Institut for Bioøkonomi, Ås.

Andersen, L.H., Nummi, P., Rafn, J., Frederiksen, C., Kristjansen, M., Lauridsen, T., Trøjelsgaard, K., Pertoldi, C., Bruhn, D., and Bahrndorff, S., 2021. Can reed harvest be used as a management strategy for improving invertebrate biomass and diversity? Journal of Environmental Management, 300: 113637.

Barłóg, P., Hlisnikovský, L., Kunzová, E., 2020. Effect of Digestate on Soil Organic Carbon and Plant-Available Nutrient Content Compared to Cattle Slurry and Mineral Fertilization. Agronomy, *10*, 379.

Bengtsson, J., och Martinell, A., 2016. Utvärdering av stallpellets som strömaterial. Examensarbete inom hippologprogrammet, Sveriges Lantbuksuniversitet, Uppsala.

Bernesson, S. och Nilsson, D. 2005. Halm som energikälla - Översikt av existerande kunskap. Rapport - miljö, teknik, lantbruk 2005:07, Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala.

Björnsson, L., Maria del Pilar, C., Carina, G., Sven-Erik, S., & Wallberg, O., 2014. Förbehandling av lignocellulosarika råvaror vid biogasproduktion - Nyckelaspekter vid jämförande utvärdering. (Miljö- och Energisystem, Lunds Universitet; Vol. 92). Miljö- och energisystem, LTH, Lunds universitet.

Bonde, T.A., 2012. Danmark Patent DK177818B1 (US10450386B2 2017).

Brown, A. & Ford, J., 2017. Grass to Gas: Roadside Verge Biomass CDT Mini-Project. CDT Conference Low Grade Biomass: Challenges and Opportunities, 27th June 2017.

Börjesson, P., 2021. Potential för ökad tillförsel och avsättning av inhemsk biomassa i en växande svensk bioekonomi, Rapport nr 97, Lunds universitet, 2016.

Carlsson, M., och Uldal, M., 2009. Substrathandbok för biogasproduktion. Rapport U2009:14. Avfall Sverige, Malmö.

Czubaszek, R., Wysocka-Czubaszek, A., Banaszuk, P., Zając, G., Wassen, M.J., 2023. Grass from Road Verges as a Substrate for Biogas Production. Energies 16(11): 4488.

Emilsson, T., Nilsson, D., och Svensson, S.-E. 2024. Omvandling av slåttermaterial från vägkanter till biogas: Utvärdering energipotential och teknik. Rapport 2024:026. Trafikverket, Malmö.

Energigas (2020)

https://www.energigas.se/publikationer/tidningen-energigas/full-gas-mot-fossilfritt-stal/https://www.energigas.se/publikationer/tidningen-energigas/full-gas-mot-fossilfritt-stal/

Essity (2022) https://www.essity.se/media/nyheter/2022/mjukpapper-utan-fossila-co2-utslapp/

Fredriksson, H. 2002. Storskalig sommarskörd av vass - Energiåtgång, kostnander och flöden av växtnäring för system med skörd och efterföljande behandling.

Furutank (2022) https://www.mynewsdesk.com/furetank/pressreleases/ny-anlaeggning-foer-biogas-blir-steg-mot-fossilfri-sjoefart-3161269 Examensarbete, Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala.

Haglund, M. 2010. Utvärdering av strömaterial av restprodukter från wellpapp. Examensarbete, Sveriges lantbruksuniversitet, Strömsholm.

Hassani, M.; Vallius, E.; Rasi, S.; Sormunen, K. 2021. Risk of Invasive Lupinus polyphyllus Seed Survival in Biomass Treatment Processes. Diversity, 13, 264.

Horvath, S.I., Castillo, M.d.P., Schnürer, A., Agnihotri, S., Ylitervo, P., & Edström, M., 2017. Utilization of straw pellets and briquettes as co-substrates at biogas plants. Energiforsk, report 2017:438.

Jandl G, Horn R, Schroeder R, Eckhardt KU, Leinweber P. 2023. Influence of Biogas Digestates on the Composition of Soil Organic Matter. Journal of Energy and Power Technology, 5(1): 012.

Jivén, K., Hjort, A., Malmgren, E., Persson, E., Brynolf, S., Lönnqvist, T., Särnbratt, M., & Mellin, A. (2022). Can LNG be replaced with Liquid Bio-Methane (LBM) in shipping? IVL Svenska Miljöinstitutet AB.

Johansson, L.G. 2012. "Evalueringsrapport Biogas - Procesteknik til forbehandling af halm,".

John Nurmisens stiftelse, 2024. *Vassprojekt för kusten.* https://johnnurmisensaatio.fi/sv/vad-gor-vi/projekt/vassprojekt-for-kusten/ [2024-12-04].

Kupper, T., Brändli, R. C., Bucheli, T. D., et al. 2006. Organic pollutants in compost and digestate: occurrence, fate and impacts. In proceedings: International Conference ORBIT (p. 1).

Koch K, Hafner SD, Weinrich S and Astals S (2019). Identification of Critical Problems in Biochemical Methane Potential (BMP) Tests From Methane Production Curves. Front. Environ. Sci. 7:178.

Kätterer, T., Bolinder, M. A., Andrén, O., Kirchmann, H., Menichetti, L. 2011. Roots contribute more to refractory soil organic matter than above-ground crop residues, as revealed by a long-term field experiment, Agriculture, Ecosystems & Environment, 141:1–2, 184-192.

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, 13482.

LRF. 2023. https://www.lrf.se/nyheter/rotblota/ [2024-12-01]

Mattsson, L. och Larsson, H. 2005. Att föra bort eller bruka ner halmen påverkar mullhalt, daggmaskar och skadedjur. Undersökningar i långliggande försök i Skåne. Rapport 210, Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala.

Möller, K. Effects of anaerobic digestion on soil carbon and nitrogen turnover, N emissions, and soil biological activity. A review. 2015. Agron. Sustain. Dev. 35, 1021–1041.

Mönch-Tegeder M,, A. Lemmer, H. Oechsner och T. Jungbluth. 2013. Investigation of the methane potential of horse manure, Agric Eng Int: CIGR Journal 15(2).

Niemi, N., Hansen, J.P., Eklöf, J.S., Eriksson, B.K., Andersson, H.C., Bergström, U., and Östman, Ö. 2023. Influence of reed beds (Phragmites australis) and submerged vegetation on pike (Esox lucius). Fisheries Research, 261:106621.

Nilsson, D. och Bernesson, S. 2008. Pelletering och brikettering av jordbruksråvaror: En systemstudie. Rapport 001. Institutionen för energi och teknik, Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala.

Nilsson, D. och Bernesson, S. 2009. Halm som bränsle - Del 1: Tillgångar och skördetidpunkter. Rapport 011. Institutionen för energi och teknik, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.

Del 3: Dynamisk simulering av hanteringssystem. Rapport 021. Institutionen för Energi och Teknik, Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala.

Nilsson, U. 2022. Pyralidskador odlingssäsongen 2022. Fritidsodlingens Riksorganisation.

Nilsson, J., Ernfors, M., Prade, T. och Hansson,P-A. 2024. Cover crop cultivation strategies in a Scandinavian context for climate change mitigation and biogas production – Insights from a life cycle perspective. Science of The Total Environment 918: 170629.

Näslund, M. 2003. ”Teknik och råvaror för ökad produktion av bränslepellets,” Statens energimyndighet.

O'Connor, J., Mickan, B. S., Siddique, K.H.M., Rinklebe, J., Kirkham, M.B., Bolan, N.S. 2022. Physical, chemical, and microbial contaminants in food waste management for soil application: A review. Environmental Pollution, Volume 300: 118860.

Persson, A. 2013. ”Ensilering i plansilo.” Kandidatuppsats, Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala.

Persson E., Linné M., Bigelius J. (2015); Ammoniakförbehandling av halm och våtmarksmassa för biogasproduktion. BioMil,

Prade T., Svensson, S.-E. och Tufvesson, L. Skördad våtmarksvegetation renar vattnet bättre från närsalter. Faktablad 2017:2, Sveriges Lantbuksuniversitet, Alnarp.

Region Skåne, 2015. Biogaspotential från akvatiska substrat i S

Rise, 2021, Detaljerad analys state-of-the-art industriell elektrolys – Fallstudie. available at: https://www.ri.se/sv/vad-vi-gor/projekt/detaljerad-analys-state-of-the-art-industriell-elektrolys-fallstudie

Rise, 2022. Potentialstudie för biogassubstrat i Västra Götaland, Halland och Skåne. Rapport 2022:58

SCB. 2013. Odlingsåtgärder i jordbruket 2012. Träda, slåttervall, vårkorn, höstspannmål samt användning av halm och blast (MI 30 SM 1302). Stockholm, Swede.

Schultz-Zehden, A. och Matczak, M. 2012. SUBMARINER Compendium - An Assessment of Innovative and Sustainable Uses of Baltic Marine Resources, Maritime Institute in Gdańsk , Gdańsk.

Secher J. 2021, Biostrategin missar industrins klimatmöjligheter, Aktuell Hållbarhet. https://www.aktuellhallbarhet.se/alla-nyheter/debatt/biostrategin-missar-industrins-klimatmojligheter

SJV 2022. Skörd av spannmål, trindsäd och oljeväxter 2022. Jordbruksverkets officiella statistik, Preliminär statistik för län och riket.

SJV 2023. Jordbruksmarkens användning 2023. Preliminär statistik.

SJV 2024. Information om pyralider. Växtskyddscentralernas orgräsbrev nr 4:2024.

Sjöfartstidningen (2021)
https://www.sjofartstidningen.se/destination-gotland-okar-andelen-biogas/

Slottner, D. Ensilagenytt. https://www.ensilagenytt.se/plansilo.htm. [2024-11-14].

Spöttle, M., Alberici, S., Toop, G., Peters, D., Gamba, L., och Ping, S., van Steen, H., Bellefleur, D. 2013. Low ILUC potential of wastes and residues for biofuels Straw, forestry residues, UCO, corn cobs. Project number: BIEDE13386 / BIENL12798

Söderqvist, H. 2023. Biogödsels påverkan på markkol. Rapport 2023:16. Avfall Sverige.

Stella, T., Mouratiadou, I., Gaiser, T., Berg-Mohnicke, M., Wallor, E., Ewert, F. och Nendel, C. 2019. Estimating the contribution of crop residues to soil organic carbon conservation. Environ. Res. Lett. 14 (9).

Thomsen, I.K., Olesen, J.E., Møller, H.B., Sørensen, P., och Christensen, B.T. 2013. Carbon dynamics and retention in soil after anaerobic digestion of dairy cattle feed and faeces. Soil Biology and Biochemistry, 58:82-87.

Toft L.V., Juul, T.A., Larsen, S.U., Hjort-Gregersen, K., och Møller, H.B. 2022. Brug af halm i biogasanlæg, Energistyrelsen, Danmark.

Towler, G. och Sinnott, R. 2021. Chemical Engineering Design: Principles, Practice and Economics of Plant and Process Design, Netherlands: Elsevier Science.

Valkama, E., Lyytinen, S., and Koricheva, J. 2008. The impact of reed management on wildlife: A meta-analytical review of European studies. Biological Conservation, 141(2): 364–374.

Volvo Trucks (2022) https://www.volvotrucks.se/sv-se/news/press-releases/2022/apr/Sandahls-gaslastbilar.html

Wennerberg, P. och Dahlander, C. Halmpelletsens möjligheter att öka värdet och biogasutbytet i fastgödsel, Agroväst, 2014.

Xavier, C.A.N., Moset, V., Wahid, R., Møller, H.B. 2015. The efficiency of shredded and briquetted wheat straw in anaerobic co-digestion with dairy cattle manure. Biosystems Engineering, 139:16-24.

Tabell 6. Kostnader, kapacitet och avstånd som är grund till kostnadsuppskattningar för råvarans transportkostnader.

	Halm	Vägkantsgräs	Vass	Kommentar /referens
Inköpspris	2 kr/kg TS [a]	1,35 kr/kg TS [b]	2 kr/kg TS[c]	
Mängd per lass	24 balar á 520 kg[d]	10 råton[e]	10 råton[f]	
Avstånd enkel väg	10 km	30 km	50 km	
Hastighet vid transport	30 km/h (7)			Bengtsson and Martinell (2016)
Personalkostnad	400 SEK/h			
Lastmaskin	208 SEK/h			
Transporttraktor	264 SEK/h			
Transportvagn	150 SEK/h			
Diesel förbrukning	13 l/h			
Dieselpris	19 kr/l			

*(a) Personlig kommunikation med projektpartners, 2024; (b) Emilsson m.fl. 2024; (c) kostnaden är osäker och mycket beroende på förutsättningarna och storleken på skörd. Den antagna kostnaden ligger i mitten av intervallet från källorna (Fredriksson 2002; Schultz-Zehden m.fl. 2012) och motsvara ungefär stödet i Finland. För vass tillkommer sedan en hackningskostnad men även denna är beroende av skördeteknik. För att få en bättre uppskattning krävs det att de lokala förutsättningarna utreds; (d) Antaget fyrkantsbalar 1,2m*1,2m*2,4m (Hesston) och samma kapacitet som lastbilar vid Køge Biopellet Factory och densitet på 150 kg/m3; (e) Antaget samma som i den tyska studien som är i övre delen av intrevallet från vägkantsgräs studien från Trafikverket (Emilsson m.fl. 2024).*

(f)Antaget samma som vägkantsgräs men även här beroende på skördeteknik och möjlighet till att öka densitet genom balning.

Tabell 7. Värden för uppskattning av lagerkostnader

	Halm	Ref. / Kommentar
Densitet i höbal	150 kg/m^3	Antaget att det är fyrkantsbalar
Antal balar i höjd	5 st	Uppskattad utifrån observation
Stapeleffektivitet	90 %	Uppskattad för att få utrymme för gångar och ventilation
Lagringskapacitet av årskonsumtion	80 %	Nilsson och Bernesson (2008)
Kostnad för lager	120 SEK/m^2/år	Bengtsson och Martinell (2016)

Tabell 8. Kostnad och antaganden vid plansilage av blött material.

	Vägkantsgräs/vass	Ref. / Kommentar
Kostnad	17,5 sek/ton (blöt)	Genomsnittlig kostnad från två olika studier (Wennerberg och Dahlander 2014; Bengtsson och Martinell 2016)
Packningstid	10 ton/h	Uppskattad utifrån bransch tidskrift (Toft et al. 2022)
Förlust av TS under lagring	5 %	Lägre nivåerna uppskattade från Exjobb SLU (Prade et al. 2017)
Lagringskapacitet av årskonsumtion	80 %	Nilsson och Bernesson (2008)

Tabell 9. Kostnader, kapacitet och avstånd som är grund till kostnadsuppskattningar pelletsens transportkostnader till strökonsument.

	Långhalm	Pellets (oberoende av råvara)	Ref. / Kommentar
Avstånd ToR		100 km	Uppskattat medelavstånd
Lass per pall	520 kg/pall	780 kg/pall	Uppskattad utifrån densitet på bal och hur mycket som en pelletspall lastas med
Antal pall per lastbil	12	18	Utifrån standard lastbil utan släp
Genomsnittshastighet		60 km/h	Uppskattad utifrån blandade vägslag
Lassning/lossningstid		30 min	Uppskattad 15+15 min
Kostnad lastbil (ink förare)		800 kr/h	Uppskattad utifrån prisuppgifter från transportbolag (https://carrier.se/priser-bud-flytt/)
Km pris		15 kr/km	
Energikonsumtion		-	Diesel konsumtion enligt **Error! Reference source not found.** och energivärde på diesel.

Tabell 10. Jämförelse av investerings och energiförbrukning för pelletering och brikettering.

	Pelletering	Ref	Brikettering	Ref
Ingående torrhalt	14 %	Muntligt, Laga bioenergi	14 %	Emilsson m.fl. (2024)
CAPEX investering Kapacitet: 2 ton/h (exkluderat tork)	9,6 MSEK[1]	(Fredriksson 2002; Nilsson och Bernesson 2008).	30 MSEK	Emilsson m.fl. (2024), 1 DKK=1,5 SEK
Energiförbrukning (ink. Hackning, exkl. Torkning)	120 kWh/ton	Fredriksson (2002)	118-135 kWh/ton (9)	Emilsson m.fl. (2024)

[1] KPI-justerad från 2011. Total installerad kostnad har antagits vara 2,5 gånger utrustningskostnaden, i linje med Johansson (2012).

STOCKHOLM
Box 21060, 100 31 Stockholm

GÖTEBORG
Box 53021, 400 14 Göteborg

MALMÖ
Nordenskiöldsgatan 24
211 19 Malmö

KRISTINEBERG
(Center för marin forskning och innovation)
Kristineberg 566
451 78 Fiskebäckskil

SKELLEFTEÅ
Kanalgatan 59
931 32 Skellefteå

BEJING, CHINA
Room 612A
InterChina Commercial Building No.33
Dengshikou Dajie
Dongcheng District
Beijing 100006
China

© IVL SVENSKA MILJÖINSTITUTET AB | Tel: 010-788 65 00 | www.ivl.se

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