

Energimyndighetens titel på projektet – svenska Analys av värdekedjor för produktion av biogas från hästgödsel	
Energimyndighetens titel på projektet – engelska Analysis of value chains of horse-manure to biogas	
Universitet/högskola/företag SSPA Sweden AB	Avdelning/institution Research
Adress Chalmers Tvärgata 10	
Namn på projektledare Christian Finnsgård	
Namn på ev övriga projektdeltagare Martin Svanberg	
Nyckelord: 5-7 st Hästgödsel, logistik, energi, transport, hantering, biogas	

Förord

Projektet har genomförts av forskningsutförarna SSPA, Chalmers tekniska högskola, Luleå tekniska universitet, Handelshögskolan vid Göteborgs universitet, samt med deltagande av Kungälv Energi, Kungälv Kommun, och Hästföretagarna i Göteborgsregionen.

Energimyndigheten, tillsammans med de deltagande organisationerna har bidragit till finansieringen av arbetet i projektet.

Innehållsförteckning

Sammanfattning	1
Summary	1
Inledning/Bakgrund	2
Genomförande	3
Resultat	6
Diskussion.....	8
Publikationslista.....	16
Referenser, källor.....	17
Bilagor	19

Sammanfattning

Hästhållning skapar stora sociala välfärdsvärden, men ett problem är att gödseln måste bortforslas för att inte bli ett miljöproblem, vilket medför stora kostnader. Detta problem kan dock vändas till en möjlighet, då det är fullt möjligt att omvandla hästgödsel till biogas – gärna genom samrötning med matavfall. En stor barriär är dock kostnaderna för att samla in hästgödsel samt att göra det i tillräckligt stor skala, då biogasproduktion likt annan energiomvandling behöver

dra nytta av skaleffekter för att bli ekonomiskt hållbar. Detta projekt har därför kartlagt försörjningskedjor för hästgödsel och identifierat affärsmodeller för biogasproduktion. Detta har även inkluderat att identifiera hinder som måste övervinnas för att insamlingen ska bli effektiv och affärsmodellerna hållbara.

Resultaten visar att det finns hinder längs hela försörjningskedjan som gör att logistiken blir dyr. Viktiga hinder är exempelvis den geografiska spridningen av många små stall vilket gör det svårt att planera för effektiva transporter. Dessutom är det stallpersonalen som själva ansvarar för att beställa transporter och välja container vilket gör transporter dyra. Dessutom använder stallägare idag en mängd olika strömedel som en funktion av kostnad samt personliga preferenser vilket kan vara ett hinder då inte alla strömedel är lämpliga för biogasproduktion. Vidare finns det många potentiella olika typer av slutanvändare då gödsel exempelvis kan användas på åkermarker, förbrännas eller potentiellt omvandlas till biogas av energiproducenter. Slutligen kan det finnas flera aktörer inom varje segment med konkurrerande upptagningsområden.

Den potentiella biogasproduktionen har även kartlagts utifrån ett affärsmodellsperspektiv med hjälp av nio byggstenar, se Osterwalder and Pigneur (2010). I kombination med att biogas produceras av en bulkråvara och kontinuerligt distribueras, samt att kvalitet inte är en central aspekt blir ett flertal av byggstenarna relativt triviala. Dock, flera byggstenar, framförallt nyckelpartners blir avgörande ifall affärsmodellen skall vara bärkraftig på lång sikt, eftersom biogasproducenten annars riskerar att stå utan lokal råvara. Det centrala i värdeerbjudandet torde vara att erbjuda lokalt producerad och förnyelsebar biogas.

Detta projekt föreslår att viktiga konkreta åtgärder från både tekniskt och organisatoriskt perspektiv. Rent tekniskt krävs en utveckling av specialanpassade fordon för effektiv insamling. Vidare behöver det skapas en förståelse för hur kostnader för insamling av gödsel påverkas av lagringstid samt insamlingsfrekvens. Från ett organisatoriskt perspektiv är det viktigt med affärsmodeller som skapar värde för alla aktörer längs kedjan, samt horisontell och vertikal koordinering, båda för att undvika suboptimering.

Projektet har presenterats vid tre branschtillfällen, workshops, vunnit pris på en internationell akademisk konferens (bästa poster) samt publicerats i den internationella forskartidsskriften "Renewable energy". Sammantaget bedöms det att de identifierade logistiska hinder som finns för produktion av biogas kan övervinnas och att hästgödsel har en liten roll att spela inom svenska energisystem.

Summary

Horsekeeping is typically done for training, competition and leisure, which contribute to economic and social values, but the horse manure has to be tended for, which is a significant cost for a stables. This can be turned into a profit, since research has shown that it is technically feasible to convert horse manure to biogas by means of anaerobic digestion. A major barrier are the logistics cost as

well as the lack of business models for biogas production that benefits all actors along the supply chain. In response, this project has mapped potential supply chains for horse manure to biogas and pointed at important obstacles that must be overcome in order for the collection to be efficient and the business models sustainable.

The results show that there are barriers all along the supply chain that obstructs efficient logistics. Important factors include the geographical spread of many small stables which makes it hard to plan for efficient transportation. Furthermore, the stable personal are responsible for container selection as well as transport orders, which makes the logistics costly. Also, horse owners prefer different bedding for their horses as a function of cost and personal preferences which obstructs biogas production. There are also multiple potential segments of end users for horse manure and multiple end users within each segment, which may lead to sub-optimization from a supply chain perspective.

The potential biogas production have also been mapped from a business model perspective, based on Osterwalder and Pigneur (2010). Given that biomass is produced from a bulk commodity and continuously distributed, several of the parts of the business model are straight-forward. However, *key partners* will be of significant importance for the business model to be economically viable in the long run, as there may be a lack of raw material otherwise. Also, the central part of the *value proposition* is locally produced and renewable biogas.

This project suggest that both technical and organizational developments are needed. From a technical perspective, specialized vehicles for efficient collection may reduce logistics cost. Also, the trade-off between storage efficiency and transport efficiency needs to be addressed by mathematical modelling. From an organizational perspective, it is important to develop business models with positive revenue streams for all actors in order to avoid sub-optimization. Also, managing vertical and horizontal channels are of similar importance.

The project has been presented at three industrial conferences, won a price for best poster at an international research conference and been published in the international research journal "Renewable energy". In all, it is concluded that the logistical barriers identified may be overcome and that horse manure has a small part to play within the Swedish energy system.

Inledning/Bakgrund

Under de senaste årtiondena har andelen förnyelsebar energi ökat signifikant, både på nationell men även på global nivå. De främsta anledningarna är ekonomisk och miljömässig hållbarhet hos förnyelsebara bränslen. Från både globalt och nationellt perspektiv är biomassa den främsta källan till förnyelsebar energi. Givet att transportkostnader för biomassa är höga, är oförädlad biomassa i främsta hand en regional råvara, och i bästa fall en nationell råvara. Endast om den vidareförädlas lokalt till exempelvis pellets eller metanol kan den transporteras effektivt över långa avstånd, se exempelvis Uslu et al. (2008), vilket kräver stora volymer och kostnadseffektiv omvandling. Som en konsekvens är det

den lokala tillgängligheten av olika typer av biomassa som sätter förutsättning för vilket sortiment som används för att producera el, värme och drivmedel, exempelvis är skoglig (tall, gran, björk) biomassa vanligast både i Sverige men även på Europeisk nivå. Även om skogen är förnyelsebar så är den begränsad av dess takt för återväxt vilket gör de årliga volymerna begränsade, om än stora. Detta i sig skapar ett incitament för att söka efter andra råvaror att producera el, värme och drivmedel.

Ett exempel på en råvara med stor potential är gödsel från djurhållning, exempelvis från bondgårdar (kor) eller från stall (hästar). Detta har uppmärksammats tidigare, exempelvis skriver Holm-Nielsen et al. (2009) att det finns en stor outnyttjad potential från ett globalt perspektiv. Olika studier har kvantifierat mängden gödsel som skulle kunna användas till att producera olika former av användbar energi. I Turkiet skulle det kunna produceras 49 PJ biogas årligen (Avcioglu and Türker, 2012) och i Grekland 9 PJ (Batziar et al., 2005). En specifik typ av gödsel med stor potential är hästgödsel, vilken uppskattas till 500-800 millioner ton globalt och 40-70 millioner ton i Europa årligen, även om en sådan uppskattning är osäker (Kusch, 2013). Hästgödsel är synnerligen intressant i ett svenskt perspektiv, då Sverige är ett hästtätt land. Antalet hästar i Sverige har uppskattas till 360.000, att jämföra med exempelvis Spaniens som har 290.000. (Gómez et al., 2010). Den uppskattade energipotentialen i ett svenskt perspektiv är 730 GWh (Linné et al., 2008).

Hästgödsel kan ses som en typ av verksamhetsavfall, där verksamheten består av hästhållning för att skapa värden såsom motion och rekreation för stallets kunder (Hadin et al., 2016). Ett stort problem, och som kan bli till en möjlighet till ur en energisynpunkt, är det hästgödsel som genereras från stallet. Många forskare har noterat att det är både tekniskt möjligt och ekonomiskt fördelaktigt från en processsynpunkt att antingen förbränna hästgödsel för att producera el och värme (Lundgren and Pettersson, 2009) eller producera biogas, exempelvis i kombination med gödsel från nötkreatur (Yusuf et al., 2011, Wartell et al., 2012, Mönch-Tegeger et al., 2013).

En stor barriär mot biogasproduktion är dock värdekedjans struktur samt avsaknaden av affärsmodeller för detta då dagens hästgödsel till stor del går till ändamål med lägre värde i avfallshierarkin (bortsett från återanvändning på åkrar vilket dock har begränsad potential). Ett av de största hindren mot ökad användning av olika typer av gödsel är kostnaderna i försörjningskedjan (Toka et al., 2016). Det finns stora kunskapsluckor kring vilka hinder det finns mot en effektiv logistik och dessa måste belysas då logistikostnaderna är mycket höga eftersom hästgödsel likt all biomassa har ett lågt värde vilket gör transportkostnader höga.

Givet denna bakgrund så analyserar detta projekt både logistikaspekter samt affärsmodeller som behövs för hållbara försörjningskedjor av biogas från hästgödsel. Detta innefattar dels att identifiera faktorer och hinder som sätter förutsättningar för en kostnadseffektiv insamling hästgödsel. En kostnadseffektiv försörjning av råvara har en signifikant inverkan på totalkostnaden för att producera biogas och därmed dess konkurrenskraft gentemot andra typer av

energislåg. Affärsmodeller analyseras främst utifrån de nio byggstenar som måste vara på plats för att en affärsmodell skall vara hållbar och är baserat på det välkända ramverket för affärsmodeller enligt Osterwalder and Pigneur (2010).

Projektet har pågått under perioden Augusti 2016 till Februari 2017 och är finansierat av Energimyndigheten.

Genomförande

Projektet har genomförts av projektdeltagarna Tekn. dr. Martin Svanberg och Tekn. dr. Christian Finnsgård. Utöver detta har Dr. Jonas Flodén vid Handelshögskolan i Göteborg samt Bitr. Professor Joakim Lundgren vid Luleå tekniska universitet bistått med sin expertis, och medförfattat den vetenskapliga artikeln som har kommit ur projektet.

Projektet har genomförts med ett antal olika metoder. Först gjordes en omfattande genomgång av den litteratur som är skriven kring användandet av hästgödsel för energiproduktion. I vetenskapliga journaler är omfånget relativt begränsat. De artiklar som finns behandlar främst processmässiga aspekter såsom effektivitet i biogasproduktion som en funktion av olika strömedel eller hur effektivt det är att kombinera olika typer av gödsel. De senaste åren har det dock publicerats ett antal rapporter från olika högskolor i Sverige kring användandet av hästgödsel, där hästgödsellogistik berörs till en viss del, se exempelvis, (Mattsson et al., 2015, Wennerberg and Dahlander, 2013, Olsson et al., 2014). För att kompensera för bristerna av ämnesspecifikt vetenskapligt granskad litteratur har närliggande områden såsom skogsbränslelogistik och dess litteratur använts som ramverk för att conceptualisera försörjningskedjans struktur, men även för att peka på viktiga punkter med stor förbättringspotential baserat på den utveckling som skett i den branschen under de senaste årtiondena. För en full förteckning se referenslistan längst ner i denna rapport samt referenslistan till den vetenskapliga publikation som hör till projektet.

Projektet har använt sig av fallstudiedata, först och främst intervjuer med stallägare men även transportörer samt energiproducenten i projektet. Projektet har även använt sig av observationer på stall. Denna empiri har använts för att conceptualisera försörjningskedjan och beskriva den med olika attribut, dvs. de fasta villkor som sätter förutsättningarna för en effektiv logistik, såsom den geografiska spridningen på ställen vilket förhindrar att dra nytta av stora fordon vid insamling. Vidare har även viktiga beslut inom varje steg i försörjningskedjan identifierats, såsom hur val av strömedel sätter förutsättning för kostnadseffektiv insamling eller hur samarbete mellan energiproducenter kan påverka transportavstånd. Detta är ett angreppssätt som är vanligt inom logistikforskning, se exempelvis Fisher (1997) och Pagh and Cooper (1998), inom energilogistik (Halldórsson and Svanberg, 2013) samt inom skoglig biobränslelogistik, se Svanberg (2014) och Gold and Seuring (2011). De identifierade attributen och besluten har sen jämförts med liknande forskningsfält, framförallt skoglig biobränslelogistik. Baserat på hur dessa hanterar liknande utmaningar – exempelvis genom att utveckla specialanpassade fordon – ges ett antal

rekommendationer kring hur logistiken vid insamling av hästgödsel kan göras mer effektiv.

Slutligen, har även ett ramverk kring affärsmodeller använts (Osterwalder and Pigneur, 2010), vilket bygger på att affärsmodeller kan beskrivas med nio olika element; (1) kundsegment, (2) värdeerbjudande, (3) kanaler, (4) kundrelationerna, (5) intäktsflödena, (6) nyckelresurser, (7) nyckelaktiviteter, (8), nyckelpartnerskap och (9) kostnadsstruktur. Utifrån den insamlade empirin och litteraturgenomgången beskrivs nedan resultat från studien med avseende på logistik och affärsmodellproblematik inom försörjningskedjan, främst hos biogasproducenten. För ytterligare och mer utförliga resultat samt ytterligare metodbeskrivning, se den vetenskapliga artikeln publicerad inom projektet (“Analyzing animal waste-to-energy supply chains: The case of horse manure” (Svanberg, M, Finnsgård, C, Flodén, J, Lundgren, J, Renewable Energy, 2017).

Resultat Logistik

Generellt för all typ av energiproduktion från biobaserade energi-bärare är att en kostnadseffektiv produktion möjliggörs av stor skala (Cundiff et al., 2009, Kumar et al., 2003, Nilsson et al., 2011, Sultana et al., 2010) vilket även gäller för hästgödsel (Wennerberg, 2016). Dock, ju större anläggning som byggs, ju större behöver upptagningsområdet vara då stall är geografiskt spridda över stora områden, vilket medför ökade transportkostnader på grund av längre transportavstånd då anläggningen ökar i storlek. Därför finns det för varje anläggning en given plats en optimal storlek om hänsyn tages till både produktionsekonomi för och kostnader för insamling av råvara (Svanberg, 2016, Cundiff et al., 2009). Detta gäller i högsta grad för insamling av hästgödsel för produktion av biogas.

Längs hela kedjan har det i detta projekt därför belysts hur dels olika faktorer påverkar en effektiv logistik samt de olika hinder som finns mot att realisera biogasproduktion utifrån logistik och affärsmodellsperspektiv. De faktorer som är mest centrala och både orsakar höga logistikkostnader hos stallen är:

- **Geografisk spridning av många små stall.** Statistiska centralbyrån har uppskattat att det finns i Sverige i dag hästar på 77.000 platser. Detta gör att det blir en mycket komplicerad sammanordning av många små platser till centrala platser där biogas kan produceras. Dessutom är det olika aktörer på olika platser, vilket gör att affärsmodeller kommer bygga på kanaler med stora mängder relationer.
- **Varierande storlek på stallen.** I studien har det identifierats olika storlekar på stall, från ett fåtal hästar upp emot hundra. Detta gör det mycket svårt att skapa effektiva standardiserade lösningar, då olika stall kräver olika upphämningsfrekvens och olika containersistem. Sammantaget skapar detta koordineringsproblem för en transportör vilket gör logistiken onödigt dyr. En nyckelresurs hos åkerier är därför de IT-system som kommer krävas för samordning.

- **Olika preferenser kring strömedel.** Stallägare föredrar olika strömedel på grund av olika preferenser kring estetik, funktion och kostnad. Dock lämpar sig inte alla strömedel för biogasproduktion (exempelvis spån) vilket begränsar den tillgängliga volymen råvara för en central biogasproducent.

Det finns även faktorer i **hanteringen** av gödslet på stallet som påverkar kostnader och tillgängliga volymer för en biogasproducent.

- **Kvalitet hos gödslet** påverkas av ett flertal faktorer inom hantering. Om gödslet lagras utan tak kommer återfuktning på grund av regn försämra kvalitén. Vidare så är gödsel en biologisk råvara som bryts ner, och bör från ett volymmässigt perspektiv inte lagras. Därför påverkar den fysiska utformningen av stallet kvalitén på gödslet. Om stallägare skall investera i rätt utformning, behöver erbjudandet i en affärsmodell hos en biogasproducent inkludera en kvalitetsaspekt för att agera incitament för en effektiv lagring och hantering på stall.
- **En lågvärdig produkt.** Stallägare betalar i dagsläget för att bli av med sitt gödsel såvida det inte används av lokala bönder, då blir de ofta av med gödslet utan kostnad. Detta gör att de inte har något emot hanteringsförluster eller substansförluster vid lagring, vilket minskar volymerna.
- **Estetik** Hästgödsel är idag en biprodukt från hästhållning. Hästägare prioriterar idag att stall ska vara attraktiva för att attrahera hästägare att hyra boxar. Som en konsekvens placerar man containrar för förvaring av gödsel på baksidan av stall vilket kan försvara upphämtning och göra att större lastbilar inte kan komma fram.
- **Ergonomi.** Ergonomin i många stall är inte bra och hanteringen kräver ofta maskinutrustning, vilket annars riskerar att orsaka ergonomiska problem med dolda kostnader som följd. En stor förbättringspotential finns här i form av att bygga platser för att sänka ner containrar, vilket kan göra att ergonomin blir bättre och man kan slippa använda hjullastare för lastning av gödsel till containrar.

Faktorer i **transport** av gödslet på stallet som påverkar kostnader och tillgängliga volymer inkluderar:

- **Utrustning för transporter.** Idag användas konventionella bulkhanteringssystem för transport av gödsel. Det är dessutom generellt upp till stallägare att välja containrar för hantering, vilka saknar logistikkunskap för att göra optimala val. Sammantaget gör detta att transportererna blir dyra.
- **Transportordrar.** Det är idag upp till stallägare att beställa transporter. Detta gör att logistikoperatörerna måste stå med överkapacitet för att hämta upp när det behövs, vilket fördyrar logistiken.

- **Returflöden.** Idag transporteras gödsel från stall men det finns även flöden till stall såsom foder och strömmedel. Det finns en stor potential för att sänka kostnader genom samordning av dessa av dessa.

Ett antal faktorer sätter förutsättningar för kostnadseffektiv **biogasproduktion**

- **Flertalet olika möjliga slutanvändningar.** Hästgödsel kan idag användas både som gödsel på åkrar av bönder men även för förbränning vid kraftvärmeproduktion, med biogas som ett möjligt tredje alternativ. Mellan dessa finns då en konkurrenssituation eftersom biomassa är en lokal råvara, som kommer påverka ekonomin för varje slutanvändare då skaleffekter är viktiga i energiproduktionen.
- **Konkurrens mellan olika energiproducenter.** På samma sätt som det finns konkurrens mellan olika ändamål för gödsel finner det även konkurrens inom samma ändamål men av olika individuella aktörer som agerar på samma lokala marknad. Detta riskerar att göra att upptagningsområden för biogasproduktion blir stora och olönsamma för den individuella producenten.
- **Användning av flera olika sorters råvara.** Biogasproduktion kan dra både processmässiga fördelar samt skalmässiga fördelar av att samröta hästgödsel med matavfall. Dessutom kan olika typer av gödsel samrötas av samma anledning. Även om det är fullt möjligt ställer det krav på affärsmodeller av olika karaktär, då insamling av avfall idag görs av kommunala aktörer medan stallägare är privata aktörer.

Sammantaget finns det således en stor mängd faktorer som sätter förutsättningar för effektiv logistik och affärsmodeller, och hur dessa kan överbyggas genom ytterligare forskning beskrivs i diskussionskapitlet.

Resultat - Affärsmodeller

Ett företags affärsmodell skall beskriva logiken bakom en affärsmodell och innefatta hur ett företag planerar att tjäna sina pengar (Osterwalder and Pigneur, 2010). Detta kan beskrivas med nio olika byggstenar, se figur ett, inom fyra centrala områden: kunder, erbjudande, infrastruktur och ekonomiskt bärkraft. En biogasproducent agerar på energimarknaden och måste konkurrera och positionera sig på denna marknad för att vara bärkraftig. I kombination med att biogas produceras av en bulkråvara och kontinuerligt distribueras, och att kvalitet i distributionsledet inte är en central aspekt blir ett flertal av byggstenarna relativt triviala. Dock, flera byggstenar, framförallt nyckelpartners blir avgörande ifall affärsmodellen skall vara bärkraftig på lång sikt, eftersom biogasproducenten annars riskerar att stå utan lokal råvara.

Nyckelpartners	Nyckelaktiviteter	Värdeerbjudande	Kundrelationer	Kundsegment
Stall eller Mellanhänder Vertikala partners (Gas-distributörer)	Produktion Lagring av råvara och gas	Lokalt producerad och Förnyelsebar biogas	Långa avtal	Lokala och regionala köpare av biogas Fordonsgasmarknaden (Gasmarknaden generellt)
	Nyckelresurser Produktionsanläggning Lagringsresurser		Kanaler Offentliga upphandlingar (personlig kommunikation)	
Kostnadsstruktur Storskalsfördelar		Intäktsflöden Försäljning av gas (och rötrest)		

Figur 1: Byggstenarna i en möjlig affärsmodell för en producent av biogas från hästgödsel

1. Kundsegment

Kundsegmentet beskriver den grupp av organisationer, företag eller människor till vilket ett företag riktar sig (Osterwalder and Pigneur, 2010). Den svenska biogasmarknaden har de senaste åren växt, mycket tack vare olika lokala och regionala satsningar på biogas. Exempel på hållbara slutanvändare av biogas inom fordonsgasmarknaden finns i form av lokalbussar, sopbilar eller bilar. För gas generellt finns även en stor industriell marknad och i västra Sverige finns även en naturgasledning till vilken biogas skulle kunna distribueras om produktionsanläggningen läggs i anslutning till den, men då krävs en minsta storlek på 5 GWh (Wennerberg, 2016).

Då biogas kan transporteras relativt kostnadseffektivt över längre sträckor (vilket möjliggörs genom den höga energidensiteten i jämförelse med oförädlade energibärare) är marknaden potentiellt stor. Marknader kan enligt Osterwalder and Pigneur (2010) beskrivas i form av massmarknader, nischmarknader, segmenterade marknader etc. Marknaden för en biogasproducent kan närmast liknas vid ett mellanting mellan vad Osterwalder and Pigneur (2010) beskriver som en massmarknad, där kunder har liknande behov, samt en diversifierad marknad, där kunder har olika behov. Kring behovsaspekten finns en potentiellt stor skillnad på gasmarknaden i form av huruvida kunderna har ett behov att profilera sig som ett företag som använder grön biogas framför naturgas eller inte. Likt elproducenter som profilerar sig som producenter av grön el skulle en biogasproducent kunna profilera sig som en producent av grön biogas och rikta sig till kunder som har behov av att profilera sig som köpare av detta, vilket är en marknad som torde kunna betala mer än kunderna på den konventionella gasmarknaden. Vidare har det även inom projektet diskuterats möjligheter till att

slutanvändningen skulle kunna vara lokal i form av att driva lokala vägfärjor, vilket skulle kunna ses som en ”cirkulär ekonomi inom kommunen”.

Slutligen, tidigare projekt har visat att en rimlig storlek på en biogasanläggning med hästgödsel som råvara ligger i storleken 5-25 GWh (Wennerberg, 2016), att jämföra med den svenska gasmarknaden som ligger på cirka 12 TWh. Givet denna bakgrund är det troligt att en producent av biogas från gödsel får rikta sig till den marknad där man kan konkurrera med ett grönt erbjudande snarare än på kostnad, eftersom det kan vara svårt att få konkurrenskraftig produktionsekonomi i små anläggningar vilket sätter förutsättningar för försäljningspriset.

2. Värdeerbjudande

Värdeerbjudandet i en affärsmodell beskriver den kombination av produkter och tjänster som skapar ett specifikt värde för kundsegmentet och kan bestå av en mängd olika element såsom funktion, nyhet eller kundanpassning (Osterwalder and Pigneur, 2010). Att producera gas är inte revolutionerande utan det är snarare eventuellt två särdrag som biogas från hästgödsel kan ha vilket skapar värde. Givet att ett troligt kundsegment är företag som vill profilera sig som hållbara är det därför lämpligt att värdeerbjudandet förutom att hålla ett acceptabelt pris profileras genom att det är (1) lokalt producerad och (2) förnyelsebar biogas. Att det är förnyelsebar är inte helt unikt men ändå en konkurrensfördel. Lokalt producerat är ett ännu starkare argument eftersom den då inte behöver transporteras långa sträckor vilket minimerar miljöpåverkan under transport.

3. Kundkanaler och 4. Kundrelationer

Företag behöver kanaler för att kommunicera sitt värdeerbjudande med kunder (Osterwalder and Pigneur, 2010). Företag kommer även ha ett antal olika relationer med sina kunder för att kunna leverera sitt värdeerbjudande. Företag kan välja att nå dessa genom egna kanaler eller genom partnerkanaler och kan vara allt från personliga till automatiserade. Då det troliga kundsegmentet är mindre lokala och regionala köpare av biogas vilka ofta kommer vara kommunala, är det troligt att kundkanalen ofta blir genom offentliga upphandlingar. Den troligaste typen av relation är långsiktiga relationer då energimarknaden generellt sett karaktäriseras av långa avtal. Om kunderna finns på fordonsgasmarknaden och är privatägda krävs det andra typer av kanaler och relationer för att sälja gas som bygger på kostnadsminimering och personlig kommunikation.

5. Intäktsflöden

Intäktsflöden beskriver de pengar som varje kundsegment levererar. Traditionellt kan en affärsmodell innehålla två olika typer av intäktsflöden (Osterwalder and Pigneur, 2010). Dels är det transaktionsintäkter som kommer av engångsbetalningar, eller fasta intäkter från pågående betalningar. Den uppenbara intäkten kommer ifrån försäljning av tillgångar, d.v.s. försäljning av själva gasen. En annan mindre del av intäktsflödet är ifall biogasproducenten bestämmer sig för att göra affärer av sin rötrest, vilket är en bi-produkt från rötningsprocessen som med fördel kan användas som biogödsel.

6. Nyckelsresurser och 7. Nyckelaktiviteter

Nyckelresurserna är de resurser som ett företag använder för att skapa ett värdeerbjudande till sina kunder och det krävs olika resurser beroende av typen av affärsmodeller. På samma sätt är nyckelaktiviteterna det som behöver genomföras för att skapa ett värdeerbjudande och generera intäkter (Osterwalder and Pigneur, 2010).

Av uppenbara skäl är den viktigaste resursen för biogasproducenten själva rötningsanläggningen, där nyckelaktiviteten, biogasproduktion tar plats. Detta behöver ske med hög tillförlitlighet eftersom kunder på energimarknaden är beroende av kontinuerlig försörjning av biogas. För att understödja finns två stödaktiviteter, d.v.s. lagring av råvara och lagring av färdig gas som fungerar som balanserande funktion och kan jämna ut eventuella avbrott i olika led i försörjning, produktion och distribution av biogas. Båda dessa kan ske internt, inom bolagets fysiska område, eller hos leverantörer av råvara eller distributörer av gas. Var detta kommer ske kommer till stor del bero på vilket plats biogasproducenten väljer att anlägga sin anläggning. Likheten med el och värmeproduktion av skogsbränsle borde vara stor, där många producenter efterfrågar yta för att själva kunna kontrollera lagernivåer, men ofta inte har möjlighet då de är belägna i städer (Svanberg 2016). Biogasproducenter borde generellt ha lite större möjligheter att anlägga sina produktionsanläggningar på ytor där kostnaden för mark är lägre vilket gör det möjligt att lagra råvara i större utsträckning själva men även lagra färdig biogas i mindre utsträckning.

8. Nyckelpartners

Nyckelpartnerskap krävs med olika aktörer för att affärsmodellen skall fungera (Osterwalder and Pigneur, 2010). Som tidigare argumenterats, kommer biogasproducenten att vara beroende av lokal tillgång på råvara när anläggningen väl är byggd eftersom transportkostnaderna för gödsel är avståndberoende och riskerar att bli höga. Flera typer av partnerskap kan här tänkas vara lämpliga. Först och främst krävs långsiktiga partnerskap med stall. Detta är viktigt inte bara för att säkerställa volymer av gödsel, men även att säkerställa att gödslet håller rätt kvalitet, framförallt att rätt strömedel används men även att föroreningar minimeras vilket annars riskerar att skada rötningsprocessen. I andra hand kan det även vara lämpligt med mellanhänder som sköter inköp/konsolidering av gödsel från en mängd mindre gårdar. Detta är framförallt lämpligt om energibolaget inte anser att inköp är en kärnkompetens som skall ligga hos företaget utan bättre passar sig hos en mellanhänder. För det tredje så krävs det även relationer men de partner som skall försörja anläggningen med biologiskt hushållsavfall för samrötning. Här kan en eventuell konkurrenssituation uppstå mellan olika slutanvändare. En fördel kan här fås om biogasproducenten är kommunalt ägd, där kommunen ansvarar för insamling av hushållsavfall. Detta underlättar att säkerställa att volymer av matavfall är tillgängliga över lång tid framöver. Om så inte är fallet kan det krävas andra typer av partnerskap med andra kommuner och energibolag för att säkerställa leverans av matavfall i former som lämpar sig för samrötning med hästgödsel. För det fjärde så är det önskvärt om energibolag inom samma område inte bygger egna anläggningar med konkurrerande

upptagningsområden för hästgödsel. Därför kan det vara önskvärt med partnerskap mellan energiproducenter för att gemensamt producera energi från hästgödsel. På distributionssidan finns en stor mängd möjliga alternativ och givet detta finns nyckelpartnerskapen främst uppströms eller på horisontell nivå från biogasproducenten.

9.Kostnadsstruktur

Kostnadsstrukturen i affärsmodellen ligger vanligtvis någonstans mellan två ytterligheter: värdedriven och kostnadsdriven (Osterwalder and Pigneur, 2010). Som tidigare argumenterats skapas värde för kunden genom att en lokal förnyelsebar råvara används vilket kan skapa högre kostnader jämfört med exempelvis naturgas, vilket kan argumenteras för att kostnadsstrukturen till viss del ligger på att vara värdedriven. Men när valet att använda hästgödsel som råvara är gjort blir affärsmodellen ändå kostnadsdriven eftersom kvalitet hos den färdiga produkten inte är en stor värdefråga för biogas i förhållande till kostnadsminimering i produktion. Som tidigare argumenteras så är kanske den främsta faktorn i kostnadsstrukturen de skalfördelar som fås vid stora produktionsanläggningar. Det är därför viktigt att anläggningen byggs så stor som möjlig, utan att för det riskera att stå utan råvara i framtiden. Mängden hästar ökar över tid i Sverige och det är snarast konkurrens om råvara som skulle kunna vara ett hot mot stora anläggningar.

Diskussion, slutsatser och fortsatt forskning

Att använda hästgödsel för att producera biogas är en mycket intressant väg framåt, både för att det är en hållbar energiråvara, men även för att det kan vända en kostnad för stallägare till en intäkt. Dagens logistik för hästgödsel är dock dyr men det finns mycket som kan göras för att effektivisera denna.

Givet att det är centralt för en god produktionsekonomi med stora mängder råvara lokalt, vilken inte får transporteras för långa avstånd är det viktigt att så många som möjligt levererar så mycket som möjligt. Först och främst måste ett incitament skapas för att så många hästägare som möjligt ska vilja leverera hästgödsel till biogasproduktion. För att maximera volymerna som görs tillgängliga för biogasproduktion krävs i princip att hästägare får betalt för att bli av med sin gödsel, inte som idag, att de måste betala för att bli av med gödsel om den ska förbrännas. Om inte så kommer stallgödsel användas till andra ändamål såsom gödsling på åkrar (att jämföra vinsterna av detta är dock bortom scoopet för detta projekt). Det finns inte heller något incitament för att undvika hanteringsförluster eller använda rätt (halm eller halmpellets) strömedel för att biogasproduktionen skall bli så effektiv som möjligt. Om man ser hela försörjningskedjan som en helhet, så måste en affärsmodell se till att samtliga aktörer har något att tjäna på att hästgödsel används till att producera biogas, annars kan det vara mycket svårt att få till god produktionsekonomi.

För att nå en effektiv logistik kan stora lärdomar dras från insamlingen av skogsflis, vilken ligger ett flertal decennier före i utveckling. Från ett tekniskt perspektiv har man här utvecklat fordon som gör flera moment (så kallade huggbilar), och som är anpassade till de speciella förutsättningarna för flis. För gödsel är en viktig del att utveckla effektiva bulk-lastbilar som kan ta hänsyn till att stall är olika stora, och möjliggöra effektiv samlastning, förslagsvis via självlastande fordon som hämtar upp med hög frekvens hos närliggande stall.

För överbrygga problemen med många små stall, vilka måste leverera till en central biogasproduktion, med en effektiv logistik som brygga, krävs det troligtvis någon samordnande funktion som idag saknas helt. För branschen för skogsflis finns mellanhänder som hanterar relationen mellan skogsägare, energiproducent och transportörer. Här krävs således en affärsmodell som kan hantera att många små hästägare skall ställa om sin slutanvändning till att börja leverera till en och samma slutanvändare för att det ska bli en kostnadseffektiv produktion av biogas. Vidare skall också påpekas att det behövs affärsmodeller som bygger på långsiktiga relationer. Dels kommer en biogasproducent vara beroende av lokala stall för att införskaffa tillräckliga mängder gödsel årligen. Dels behöver gödseln hanteras på ett sådant sätt så att den håller tillräckligt hög kvalitet, med avseende på t.ex. kontaminationer och fukthalt. Generellt brukar denna typ av problem lösas bättre när det finns långsiktiga relationer mellan aktörer i försörjningskedjor (Svanberg, 2016).

För energiproducenter finns det ett par centrala element som krävs för väl fungerande affärsmodeller. Inom energibranschen finns det ofta närliggande kraftvärmeverk vilka har överlappande upptagningsområde vilket orsakar ett koordineringsproblem med långa transportavstånd som konsekvens (Rauch et al., 2010). Detta kommer bli än mer viktigt för energiproducenter som vill producera biogas från hästgödsel då hästgödsel finns i väsentligt mindre volymer jämfört med skogsflis. Om flera aktörer väljer detta kommer transportavstånden att bli långa och det kan bli svårt att producera biogas till ett konkurrenskraftigt pris. Således är horisontell koordinering ett mycket viktigt element i en bärkraftig affärsmodell, och kanalerna till dessa kunder blir en viktig aspekt att hantera både på strategiska, taktiska och operativa nivåer. Här krävs det forskning som belyser hur samarbete kan komma till stånd och vara hållbart över tid. Detta saknas inom både traditionell skogsbränsle samt för den studerade kontexten inom detta projekt (gödsel som biprodukt)

Eftersom produktionsekonomi är starkt beroende av skaleffekter kan det krävas mer än en råvara för att göra förädlingen effektiv. Dessutom kan det som redan konkluderats finnas processmässiga fördelar som gör förädlingen än mer effektiv genom samrötning av hästgödsel med hushållsavfall och/eller gödsel från andra djur. En affärsmodell blir mer komplex då det krävs helt olika typer av relationer till aktörer som samlar in avfall respektive avfall från djurhållning. Här krävs det ytterligare forskning som belyser hur olika aktörer av olika karaktär kan samarbeta över tid. Rent konkret behöver det utredas hur relationer mellan

biogasproducent och olika typer av råvaruförsörjare skall formaliseras för att säkerställa leverans av råvara under lång tid.

Även om mycket forskning har visat att det är tekniskt möjligt att kombinera hästgödsel/hushållsavfall/annat gödsel så krävs det mer forskning som visar hur effektivt detta är, och framförallt hur olika faktorer i försörjningskedjan sätter förutsättningar för effektiv samrötning. Ett exempel är hur lagring sker, där olika kostnader finns för olika system för lagring, men vilket även påverkar kvalitén (exempelvis fukthalten) hos gödsel. Viktigt i fortsatt forskning är därför att den sker tvärvetenskapligt, så att forskare längs hela kedjan jobbar tillsammans, exempelvis har Högskolorna i Halmstad, Gävle, SLU och JTI tidigare jobbat med frågan i olika konstellationer kring gödsellagring och samrötning. I detta projekt har främst SSPA och Chalmers jobbat, men även med deltagande från Handelshögskolan vid Göteborgs Universitet och Luleå tekniska universitet kring logistikaspekter och ekonomiaspekter i affärsmodeller. Viktigt i fortsatt forskning är att dessa samarbetar för att ta ett helhetsperspektiv, och att det finns en djupgående kompetens kring varje del och att ingen forskningsorganisation ger sig an att täcka hela kedjan själv. Vidare kommer det i fortsatt forskning vara mycket viktigt att forskningen är förankrad hos stallägare, energiproducenter samt logistikaktörer för att säkerställa att de affärsmodeller som utvecklas skapar värde för alla aktörer i kedjan.

En viktig lärdom från projektet är att energibolag som är kommunalt eller ägda kommer vara mer benägna att investera i en biogasanläggning om det finns en hållbar slutanvändare. SSPA har bedrivit detta projekt parallellt med en utredning kring huruvida biogas kan användas till att driva en dieseldriven vägfärja. Således är ett hållbarhetsperspektiv en mycket viktig aspekt som kan vara en drivkraft för byggnation av biogasanläggningar. Detta kommer att leda till en ansökan om forsknings och utvecklingsmedel (Interreg) och ett investeringsbeslut inom Kungälv Energi och Kungälv Kommun (vilka äger Kungälv Energi). Den förra innebär ansökan om fortsatt finansiering av forskning inkluderande projektpartners i detta projektet under vår- och sommar 2017 med ett team kring cirkulär ekonomi involverande insamling av hästgödsel och matavfall som avfall, konvertering till biogas i en egen biogasanläggning, samt användande och utbildningsinsatser för invånarna kring biogas. Likaså följer distributionen av biogas ut till en egen brukare i form av vägfärja som då kan ses uppfylla ett transportbehov och avfallet används som ett medel att förflytta människor och gods ännu en gång. I detta arbete inkluderas även en möjlig ansökan inom Klimatklivet för den anläggning för rötning av avfallet till biogas som Kungälv Energi avser bygga. Inom dessa projekt kommer cirkeln att slutas mellan avfall och förnyad användning med samma huvudman – till nytta för samhället.

Projektet hade som ett litet delmål att kvantifiera mängden gödsel som finns tillgängligt för produktion i en central anläggning i Göteborgsregionen. Detta har dock visat sig i princip omöjligt att göra inom ramen för budgeten. Anledningen till detta är den stora mängden faktorer som i flera led begränsar denna volym. Det här projektet har identifierat ett antal viktiga faktorer, såsom att stallägare idag

använder olika strömmedel, har olika procedurer för hästhållning och ihopsamling av gödsel, förluster vid hantering, substansförluster i lagring, kvalitetsförluster i lagring, samt att hästgödsel idag har flera olika potentiella slutanvändningar. Under projektets gång publicerades även en vetenskaplig artikel vilken till stor del fokuserar på denna problematik, se Hadin et al. (2016). Sammantaget visar detta att det är svårt att uppmäta den faktiska volymen i en viss plats. För att ge ett korrekt svar på denna fråga krävs tvärvetenskaplig forskning och en omfattande fältstudie. Det föreslås därför att det i ett fortsatta projekt görs (mer) fysiska studier i hur lagring påverkar volymer av hästgödsel, och att detta vägs mot kostnaderna för att samla in gödsel med högre frekvens. Vidare skall beaktas att om hästgödsel skulle samlas in för att producera biogas skulle den lagras väsentligt kortare tider än vad som gör idag, vilket skulle göra att volymerna skulle öka. Slutligen måste det uppskattas hur många stallägare som är villiga att leverera till en biogasproducent baserat på olika kostnads/ersättningsnivåer.

Sammantaget skall det poängteras att vägen framåt ser positiv utifrån de perspektiv som belyst i detta projekt. Dock krävs mycket fortsatt forskning för att stödja den utvecklingen. Framförallt rekommenderas att framtida forskning är tvärvetenskaplig i sin natur och belyser följande

- Vilka incitament behövs för att så många stallägare som möjligt skall leverera hästgödsel av god kvalitet i stora volymer lokalt.
- Vilken teknisk och organisatorisk utveckling krävs för en dedikerad och effektiv logistik såsom nya, anpassade lastbilar.
- Hur ska relationer hanteras både vertikalt och horisontellt för undvika sub-optimering och uppnå en kostnadseffektiv produktion av biogas.
- De matematiska volymer som tar hänsyn till både logistik kostnader och hanterings och substansförluster vid lagring och hantering.
- Det behövs affärsmodeller för mellanhänder som överbryggat gapen och är en samordnande funktion mellan stallägare, energiproducent och logistikaktörer.

Publikationslista

1. "Analyzing animal waste-to-energy supply chains: The case of horse manure" (Svanberg, M, Finnsgård, C, Flodén, J, Lundgren, J). Accepterat för publikation i Renewable energy. In press as accepted manuscript: <http://doi.org/10.1016/j.renene.2017.04.002>. Bilaga 2.
2. Logistics issues in horse manure-to-energy supply chains (M. Svanberg, C. Finnsgård, H. Guldbbrand, C. Brännström, J. Floden, J. Lundgren, A. Bakosch) Poster vid 1st International Conference on Bioresource Technology for Bioenergy, Bioproducts & Environmental Sustainability, Sitges, 2016. Belönad med 2016 poster Award winner av Elsevier. Bilaga 3-4.
3. Effektiv hästgödsel logistik – "Hästcafé" seminarie för över 100 deltagare ordnat av Chalmers tekniska högskola om hästhållning, 12 september 2016.
4. "Effektiv hästgödsellogistik på mötet "GÖDSEL - EN RESURS ELLER ETT PROBLEM?" den 24 oktober 2016 på Göteborg Horse Park, Anordnat av hushållningssällskapet.
5. Presentation av "Hästkraft" under workshop med Kungälv's kommunstyrelse, Kungälv's Energi och Hästföretagarna Väst, 2 november 2016, ett 20 tal deltagare under 3 timmar.
6. "Hästcafé" seminarie för över 80 deltagare ordnat av Chalmers tekniska högskola om dressyr, 5 oktober 2016. Projektet utställt och muntligt föredraget.
7. Chalmers tekniska högskola, med Sport och teknologi ordnade en monter med under Göteborg Horse Show och Eurohorse I Scandinavium/Svenska mässan under tre dagar (23-26/2). Information om projektet exponerades i broschyr om 4000 exemplar, tryckt material som delades ut till besökare samt på en av två monterväggar. Montern besöktes under mässan av 2500 besökare och mässan totalt av 78810 besökare. www.gothenburghorseshow.com/ Broschyr som bilaga 5.
8. Under Göteborg Horse Show och Eurohorse genomfördes totalt 6 presentationer under två dagar om "Effektiv hästgödsel logistik" inför publik i Chalmers monter. Bild bilaga 6.
9. I juni kommer föredrag om projektet att hållas den 20 juni under hästtävlingar i ÅBY, <https://gothenburgsummertour.se> med temat "Effektiv hästgödsel logistik"

Referenser, källor

- AVCIOĞLU, A. O. & TÜRKER, U. 2012. "Status and potential of biogas energy from animal wastes in Turkey". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 16, No. 3, pp. 1557-1561.
- BATZIAS, F., SIDIRAS, D. & SPYROU, E. 2005. "Evaluating livestock manures for biogas production: a GIS based method". *Renewable Energy*, Vol. 30, No. 8, pp. 1161-1176.
- CUNDIFF, J. S., FIKE, J. H., PARRISH, D. J. & ALWANG, J. 2009. "Logistic Constraints in Developing Dedicated Large-Scale Bioenergy Systems in the Southeastern United States". *Journal of Environmental Engineering*, Vol. 135, No. 11, pp. 1086-1096.
- FISHER, M. L. 1997. "What Is the Right Supply Chain for Your Product?". *Harvard Business Review*, Vol. 75, No. 2, pp. 105-116.
- GOLD, S. & SEURING, S. 2011. "Supply chain and logistics issues of bio-energy production". *Journal of Cleaner Production*, Vol. 19, No. 1, pp. 32-42.
- GÓMEZ, A., ZUBIZARRETA, J., RODRIGUES, M., DOPAZO, C. & FUEYO, N. 2010. "Potential and cost of electricity generation from human and animal waste in Spain". *Renewable Energy*, Vol. 35, No. 2, pp. 498-505.
- HADIN, Å., ERIKSSON, O. & HILLMAN, K. 2016. "A review of potential critical factors in horse keeping for anaerobic digestion of horse manure". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 65, No. pp. 432-442.
- HALLDÓRSSON, Á. & SVANBERG, M. 2013. "Energy resources: Trajectories for supply chain management". *Supply Chain Management: An International Journal*, Vol. 18, No. 1, pp. 66-73.
- HOLM-NIELSEN, J. B., AL SEADI, T. & OLESKOWICZ-POPIEL, P. 2009. "The future of anaerobic digestion and biogas utilization". *Bioresource technology*, Vol. 100, No. 22, pp. 5478-5484.
- KUMAR, A., CAMERON, J. B. & FLYNN, P. C. 2003. "Biomass power cost and optimum plant size in western Canada". *Biomass and Bioenergy*, Vol. 24, No. 6, pp. 445-464.
- KUSCH, S. "Horse stall waste: amounts, management, bioenergy generation". Proceedings of the online conference EIIC, 2013. 423-428.
- LINNÉ, M., EKSTRANDH, A., ENGLESSON, R., PERSSON, E., BJÖRNSSON, L. & LANTZ, M. 2008. Den svenska biogaspotentialen från inhemska restprodukter. Lund: Avfall Sverige, Svenska Biogasföreningen, Svenska Gasföreningen, Svenskt Vatten.
- LUNDGREN, J. & PETTERSSON, E. 2009. "Combustion of horse manure for heat production". *Bioresource technology*, Vol. 100, No. 12, pp. 3121-3126.
- MATTSSON, M., KARLSSON, N. & BERGSTRÖM NILSSON, S. 2015. "Biogas från hästgödsel i Halland-från kvittblivningsproblem till ekonomisk och miljömässig resurs". Vol., No.

- MÖNCH-TEGEDER, M., LEMMER, A., OECHSNER, H. & JUNGBLUTH, T. 2013. "Investigation of the methane potential of horse manure". *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, Vol. 15, No. 2, pp. 161-172.
- NILSSON, D., BERNESSON, S. & HANSSON, P.-A. 2011. "Pellet production from agricultural raw materials – A systems study". *Biomass and Bioenergy*, Vol. 35, No. 1, pp. 679-689.
- OLSSON, H., ANDERSSON, J., EDSTRÖM, M., ROGSTRAND, G., PERSSON, P.-O., ANDERSSON, L., BOBECK, S., ASSARSSON, A., BENJAMINSSON, A. & JANSSON, A. 2014. "Samrötning av hästgödsel med nötflytgödsel". *JTI-rapport KRETSLOPP & AVFALL*, Vol., No. 51, pp. 57.
- OSTERWALDER, A. & PIGNEUR, Y. 2010. *Business model generation: a handbook for visionaries, game changers, and challengers*, John Wiley & Sons.
- PAGH, J. D. & COOPER, M. C. 1998. "Supply chain postponement and speculation strategies: How to choose the right strategy". *Journal of Business Logistics*, Vol. 19, No. 2, pp. 13-33.
- RAUCH, P., GRONALT, M. & HIRSCH, P. 2010. "Co-operative forest fuel procurement strategy and its saving effects on overall transportation costs". *Scandinavian Journal of Forest Research*, Vol. 2010, No. 25, pp. 251-261.
- SULTANA, A., KUMAR, A. & HARFIELD, D. 2010. "Development of agri-pellet production cost and optimum size". *Bioresource Technology*, Vol. 101, No. 14, pp. 5609-5621.
- SVANBERG, M. "Biomass-to-energy supply chain coordination". In: HUBBARD, N., ed. *Proceedings from the 25 Logistics Research Network (LRN) conference (2014) in Huddersfield, 3rd-5th September 2014* 2014 University of Huddersfield, Huddersfield.
- SVANBERG, M. 2016. *Improving physical flows in biomass-to-energy supply chains by means of pre-treatment technology and coordination*. Chalmers University of Technology.
- TOKA, A., VLACHOS, D. & IAKOVOU, E. 2016. Manure and municipal sewage biomass supply chains. *Biomass Supply Chains for Bioenergy and Biorefining*. Woodhead Publishing
- USLU, A., FAAIJ, A. P. C. & BERGMAN, P. C. A. 2008. "Pre-treatment technologies, and their effect on international bioenergy supply chain logistics. Techno-economic evaluation of torrefaction, fast pyrolysis and pelletisation". *Energy*, Vol. 33, No. 8, pp. 1206-1223.
- WARTELL, B. A., KRUMINS, V., ALT, J., KANG, K., SCHWAB, B. J. & FENNELL, D. E. 2012. "Methane production from horse manure and stall waste with softwood bedding". *Bioresource technology*, Vol. 112, No. pp. 42-50.
- WENNERBERG, P. 2016. Förstudie av biogasanläggning för samrötning av hästgödsel och matavfall i Göteborgsregionen.
- WENNERBERG, P. & DAHLANDER, C. 2013. Hästgödsel Som En Resurs. En Förstudie Om Olika Hanteringskedjor För Hästgödsel. TecnoFarm, Källby.

YUSUF, M., DEBORA, A. & OGHENERUONA, D. 2011. "Ambient temperature kinetic assessment of biogas production from co-digestion of horse and cow dung". *Research in Agricultural Engineering*, Vol. 57, No. 3, pp. 97-104.

Bilagor

Bilaga 1: Administrativ bilaga

Bilaga 2: Paper från Renewable Energy

Bilaga 3: Poster från konferens

Bilaga 4: Best Poster Award

Bilaga 5: Broschyr till Gothenburg Horse Show

Bilaga 6: Bild från monter Gothenburg Horse Show