



Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

Institutionen för energi och teknik

Behovsstyrd insamling av matavfall för biogasproduktion i regioner med stor del glesbygd

- *On-demand collection of food waste for biogas production in regions with mostly rural areas*

Lisa Stoltz

Kandidat
Biologi och miljövetenskap

Institutionen för Energi och Teknik
Department of Energy and Technology

Examensarbete 2018:06
ISSN 1654-9392
Uppsala 2018

SLU, Sveriges Lantbruksuniversitet
Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap
Institutionen för energi och teknik

Titel på svenska: Behovsstyrd insamling av matavfall för biogasproduktion i regioner med stor del glesbygd

Titel på engelska: On-demand collection of food waste for biogas production in regions with mostly rural areas

Författare: Lisa Stoltz

Handledare: Hans Liljenström, Institutionen för Energi och Teknik, SLU

Examinator: Åke Nordberg, Institutionen för Energi och Teknik, SLU

Kurs: Självständigt arbete i miljövetenskap - kandidatarbete

Kurskod: EX0688

Omfattning: 15

Nivå: G2E

Program: Biologi och miljövetenskap

Serienamn: Examensarbete (Institutionen för energi och teknik, SLU), 2018:06

ISSN: 1654-9392

Uppsala 2018

Nyckelord: fordonsgas, hushållsavfall, jordbruksavfall, transporter, landsbygd

Online publication: <http://stud.epsilon.slu.se>

Sammanfattning

Användningen av fossila bränslen behöver minska, samtidigt som hushållning av samhällets och naturens resurser behöva öka. Produktion av biogas från mat- och jordbruksavfall kan hjälpa till att uppnå båda dessa mål. Både energin och näringen i avfallet tas hand om vid produktion av biogas. Biogasen kan sedan uppgraderas för att tjäna som fordonsgas. Biogas anses vara en förnybar energikälla.

I Sveriges norra län sorterar i huvudsak färre än var tionde hushåll sitt matavfall. Den största mängden slängs i hushållssoporna, resterande del komposteras. De norra länen karaktäriseras av långa sträckor mellan samhällena och stor andel glesbygd.

I denna studie undersöktes transportkostnaderna för insamling av matavfall i regioner med stor andel glesbygd, samt den potentiella mängden fordonsgas som kan produceras från detta. Vanligast är att producera biogas från matavfall i så kallade samröttningsanläggningar där andra råvaror också behandlas. Därför ingår även potentiell mängd fordonsgas från olika mängder jordbruksavfall i studien. Den totala potentialen jämförs med olika produktions- och investeringskostnader för biogasanläggningar för att se under vilka förutsättningar som biogasproduktion i liknande regioner kan vara lönsamt. Studien genomfördes med en modell i programmet NetLogo som simulerade inhämtning av matavfall under ett års tid.

De scenarier som undersökts är då matavfall samlas in från olika samhällskategorier; hushåll, restauranger, livsmedelsbutiker, storkök samt livsmedelsindustrin; hushåll, restauranger samt livsmedelsbutiker; samt enbart hushåll. I studien ingår även ifall sopbilarna som hämtar matavfallet har ett eller två lastfack. Data från två län i Sverige, Dalarna och Västerbotten, har använts för att ge mer realistiska förutsättningar.

Resultatet visar att produktion av fordonsgas i regioner med stor del glesbygd kan vara lönsamt under vissa förutsättningar. De identifierade förutsättningarna är att matavfall behöver samlas in från samtliga av ovan nämnda samhällskategorier; att investeringskostnaden bör ligga på 100 – 150 miljoner SEK; samt att kvaliteten på substratet till biogasproduktion behöver vara god.

Insamlad mängd matavfall samt produktionskostnader för fordonsgas skiljer sig stort mellan olika kommuner och mellan olika biogasanläggningar. Resultaten i denna studie skall därför användas med försiktighet.

Nyckelord: fordonsgas, hushållsavfall, jordbruksavfall, transporter, landsbygd

Abstract

The use of fossil fuels need to decrease, and the management of both societies' and nature's resources have to increase. Production of biogas from food- and agricultural waste can aid in achieving both of these goals. The energy as well as the nutrients in waste are utilized through production of biogas. The biogas can then be upgraded to serve as vehicle fuel. Biogas is considered a renewable energy source.

Less than 10 % of the households in Sweden's northern regions sort their waste. Most of the food waste is thrown with the rest of the household waste and a small portion is being composted. The northern regions are characterized by long distances between communities and large rural areas.

This study assessed the transportation costs of food waste collection in Swedish regions with large rural areas, as well as the potential amount of biogas as vehicle fuel that can be produced from this. It is most common to produce biogas through co-digestion where different forms of organic matter are treated. Therefore, the potential biogas production from agricultural waste is also included in this study. The combined biogas potential is compared to production- and investment costs from actual biogas plants to investigate under which circumstances biogas production might be profitable in said regions. The study was performed through modelling using the NetLogo software which simulated food waste collection over a year.

The different scenarios studied contain food waste collected from various parts of the community: households, restaurants, grocery stores, food industry, and large-scale catering establishments; households, restaurants and grocery stores; or households only. The scenarios also contain two types of garbage trucks, trucks with one or two compartments. Data from two Swedish regions, Dalarna and Västerbotten, were used to give more realistic conditions for the scenarios.

The study shows that production of biogas as vehicle fuel in regions with large rural areas can be economically profitable during certain circumstances. The identified circumstances are that food waste needs to be collected from all of the previously mentioned parts of the community; that the investment cost should range between 100 – 150 million SEK; and that the organic matter used for biogas production need to be of good quality.

The amount of collected food waste as well as the production cost for biogas differ greatly between municipalities and biogas plants. The results in this study should therefore be regarded with care.

Keywords: biogas, household waste, agricultural waste, transportation, rural

Special thanks

Special thanks to my supervisor Hans Liljenström, SLU, who has been encouraging me to seek out problems and designing ways to find answers to them.

Special thanks to Huayi Lin, SLU, who has been invaluable in helping me to further understand NetLogo and solve some of the various programming issues I have encountered.

Innehållsförteckning

Fackordslista	VII
1 Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte och arbetssätt	5
1.3 Hjälpmedel och litteratur	6
2 Metod	7
2.1 Systemgränser	7
2.1.1 Tekniska avgränsningar	8
2.1.2 Ekonomiska avgränsningar	9
2.2 Använd data, antagningar och beräkningar	10
2.2.1 Matavfall	10
2.2.2 Transporter	11
2.2.3 Befolkningsmängder	12
2.2.4 Rester från odling	13
2.2.5 Rester från djurdrift	13
2.2.6 Biogaspotentialer	15
2.2.7 Anläggningsekonomi	16
2.3 NetLogo	17
2.4 Scenarier	18
2.5 Modellen	19
2.5.1 Större tätorter och mindre orter	20
2.5.2 Transporter	21
3 Resultat	22
3.1 Matavfall	22
3.2 Transportkostnader	23
3.3 Jordbruksavfall	26
3.3.1 100 % gödsel	26
3.3.2 50 % gödsel	27
3.3.3 15 % gödsel	27
3.4 Anläggningskostnader och avkastning	28
3.4.1 100 % gödsel	28
3.4.2 50 % gödsel	31
3.4.3 15 % gödsel	33

4	Diskussion	35
4.1	Osäkerheter	35
4.2	Matavfall	36
4.3	Transportkostnader	37
4.4	Anläggningsekonomi	39
4.5	Producerad mängd fordonsgas	40
4.6	Sammanfattning	40
5	Slutsats	42
	Referenslista	43
	Bilaga 1 – Kod i NetLogo	
	Bilaga 2 - Beräkningar	

Fackordslista

Biogas	Gas som till 60-70 % består av metan och har sitt ursprung ur organiska material.
Fordonsgas	Biogas som har förädlats och nu består av 95-99 % metan. Kan användas som drivmedel i fordon.
Uppgradering	Den industriella processen att förädla biogas till fordonsgas.
Substrat	Den råvara som används till biogasproduktion.
Substratmix	En blandning av olika substrat som tillsammans utgör det organiska materialet för biogasproduktion.
Samrötning	Den industriella processen då biogas framställs ur flera olika substrat, till exempel gödsel och avloppsslam.
Totalvikt	Den högsta tillåtna vikten på ett fordon inklusive förare, passagerare och last.
Tjänstevikt	Ett specifikt fordons vikt med förare men utan last.

1 Inledning

1.1 Bakgrund

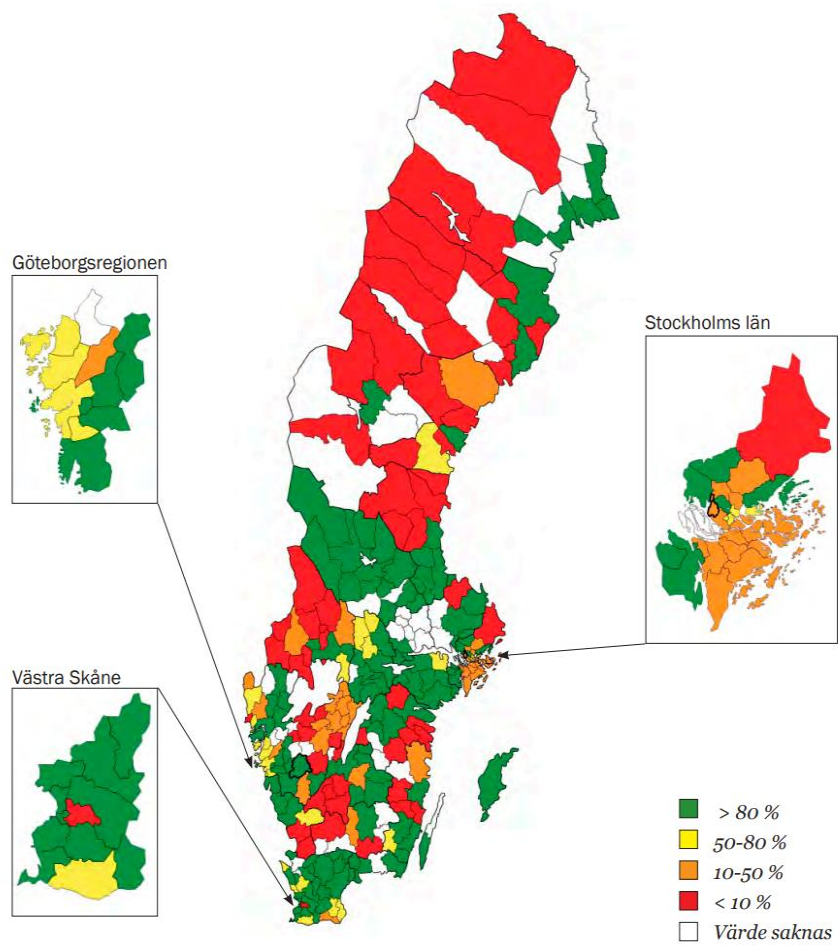
Det är idag med största säkerhet fastställt att människans förbränning av fossila bränslen förändrar jordens klimat till det varmare (Core editing team, Pachauri, & Meyer, 2015). Problemen med ett hastigt förändrat klimat i en annars stabil tidsperiod är många, och idag har de flesta länder skrivit under att begränsa den globala uppvärmningen till högst 2 grader (Förenta Nationerna, 2018). För att nå detta mål måste stora delar av fordonsflottan drivas av förnybart bränsle (Energimyndigheten, 2017c). Ett sådant förnybart bränsle är fordonsgas framställt från biogas. Det vanligaste sättet att framställa biogas är via rötning då mikroorganismer bryter ned organiskt material, substrat, med framförallt metan som restprodukt (Energimyndigheten, 2017b). Denna biogas kan uppgraderas till fordonsgas för att få de egenskaper som krävs för att användas som drivmedel. Det organiska materialet som används i dagens biogasanläggningar kan bl.a. komma ifrån källsorterat matavfall, avloppsslam, slakteriavfall, avfall från livsmedelsindustrin, energigrödor och gödsel. Genom att använda just avfall för att producera biogas uppfylls även målet kring ett ökat kretslopp i samhället (Jarvis, 2012). Idag förbränns en stor del av det organiska avfallet på kraftvärmeverk vilket ger el och värme (SMED, 2016).

Efterfrågan på användbart organiskt avfall i Sverige ökar i de regioner där biogasanläggningar finns och där antalet fordonsgasdrivna fordon är stort (Jarvis, 2012). Idag transporteras exempelvis matavfall från Dalarna till Huddinge biogasanläggning (Påhlman, 2017). Trots den långa transportsträckan är klimatnyttan positiv. Potentialen för biogasproduktion i Sverige varierar utifrån olika studier, men mycket tyder på att det finns stora möjligheter för en utvecklad biogasproduktion i landet.

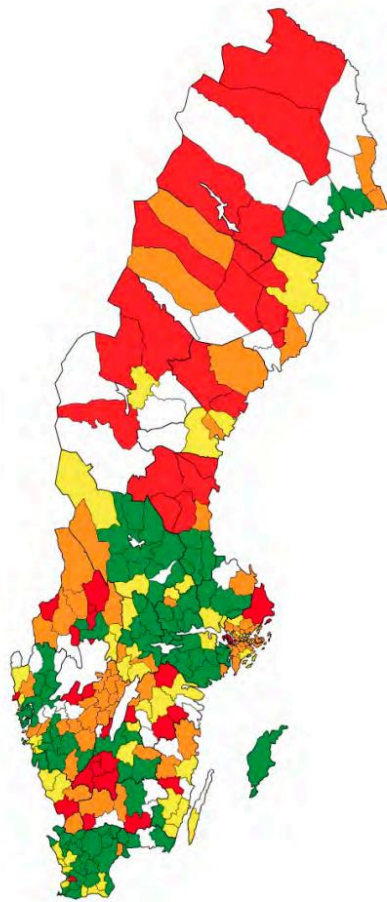
Biogas har ett metaninnehåll på runt 60-70 % beroende på substrat (Carlsson & Uldal, 2009). Biogasen kan sedan förädlas till att passa som drivmedel, så kallad fordonsgas (Svenskt Gastekniskt Center AB, 2012). Detta sker genom

en process som kallas uppgradering och den färdiga fordonsgasen har ett metaninnehåll på 95-99 %. Distribution av fordonsgas sker antingen via gasledning eller tankbilar (Vestman, Liljemark, & Svensson, 2014).

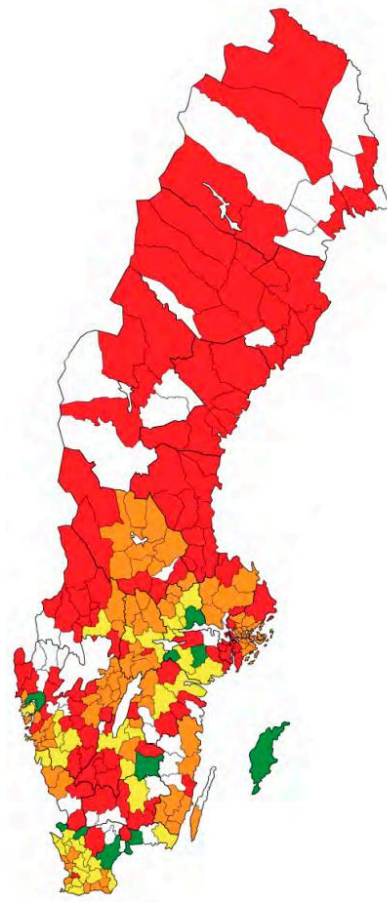
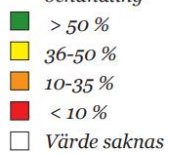
Figur 1 visar hur stor andel av befolkningen inom Sveriges kommuner och län som källsorterar sitt matavfall (Avfall Sverige, 2017). Det är tydligt att vissa kommuner och län källsorterar nästan allt matavfall medan andra knappt sorterar någonting alls. Vidare visar figur 2 hur stor andel av det insamlade matavfallet som genomgår någon slags biologisk behandling. Biologisk behandling innebär att energin i matavfallet tas omhand om genom exempelvis kompostering eller biogasproduktion (ibid.). Den vänstra bilden i figur 2 visar den andel av insamlat matavfall som genomgår någon slags biologisk behandling. Den högra bilden visar hur stor del av det insamlade matavfallet som används i biogasanläggningar. Det är tydligt att en stor del av Sveriges matavfall ej används till biogasproduktion. I samtliga nordliga län sker insamling samt biologisk behandling av matavfall i ytterst liten utsträckning. Undantaget är Dalarna samt delar av kommunerna kring Bottenviken där nästan allt matavfall samlas in. Alla de nordliga länen består till största del av glesbygd enligt Eurostats urbaniseringsindex, se figur 3. Detta väcker frågor kring ifall det finns ett orsakssamband mellan glesbygd och insamling av matavfall, samt ifall denna eventuella orsak är de långa transportsträckor som förekommer i Sveriges nordliga län.



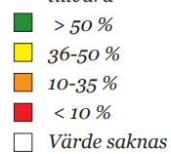
Figur 1. Hushåll som källsorterar matavfall (Avfall Sverige, 2017, s.28)



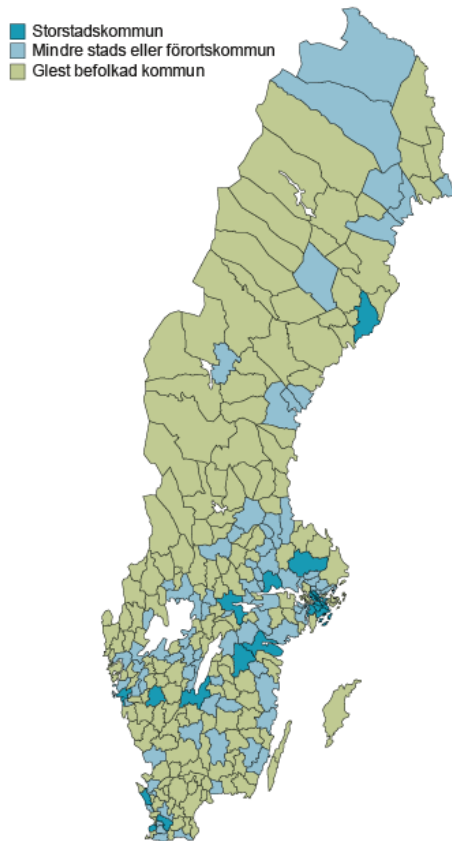
Andel av uppkommet matavfall som skickas till biologisk behandling



Andel av uppkommet matavfall som behandlas biologiskt genom rötning så att både växtnäring och energi tas tillvara



Figur 2. Insamling och nyttjande av matavfall (Avfall Sverige 2017, s. 29)



Figur 3. Urbaniseringsgrad för Sveriges kommuner enligt Eurostats definition, 2011 (Svanström, 2015).

1.2 Syfte och arbetssätt

Syftet med denna studie är att undersöka när det är ekonomiskt försvarbart att lokalisera nya samrötningsanläggningar i regioner med glesare befolkning där transportsträckorna för att samla in matavfall är långa.

Syftet nås genom att undersöka hur stor mängd källsorterat matavfall som kan samlas in under olika förhållanden samt hur olika mängder odlingsavfall och gödsel kan påverka. Utifrån substratens kvalitet har kostnadskalkyler utformats för produktionskostnad och tid för avkastning. I dagen läge skiljer sig produktionskostnaden för olika biogasanläggningar stort (Dahlberg & Svensson, 2013). Varje biogasanläggning har sina respektive ekonomiska förutsättningar, tekniska lösningar och substratmixar, och den beräknade produktionskostnaden i denna studie skall ej ses som representativ för biogasbranschen.

Arbetet har främst skett genom modellering i programmet NetLogo. Till hjälp har data använts från Dalarnas län och Västerbottens län kring befolknings-

mängd, antal tätorter och småorter, jordbruksavfall samt möjliga transportavstånd. Studien ska dock inte ses som en representation av möjligheter för biogasanläggningar i de använda länen. Dessa data har enbart använts för att ge en bild av de geografiska förutsättningarna, befolkningstätheten samt jordbruksbranschen i ett svenskt län med stor andel glesbygd. I modellen påverkas mängden tillgängligt substrat av ytterligare parametrar såsom källsortering av matavfall i fler samhällskategorier än hushåll samt utformning av sopbilar. De samhällskategorier som undersöks förutom matavfall från hushåll är matavfall från livsmedelsbutiker, restauranger, storkök och livsmedelsindustri. Två typer av sopbilar undersöks, en med två insamlingsfack och en med ett insamlingsfack. För att hantera dessa parametrar har modellen körts under 12 olika scenarier. 6 för data från Dalarna och 6 för data från Västerbotten. För vardera regionen finns tre scenarier för sopbilar med ett fack och tre scenarier för sopbilar med tre fack. För varje sopbilstyp finns sedan ett scenario vartdera där insamling sker från alla samhällskategorier, från hushåll, restauranger och butiker eller enbart från hushåll. Se avsnitt 2.4 för utförligare beskrivning av scenarierna. En stor skillnad i studien från verkligheten är metoden för insamling av matavfall. I studien sker insamlingen vid behov, alltså när antingen sopkärlet i den mindre orten börjar bli fulla, eller när mängden matavfall i den mindre orten är så pass stor att sopbilen kan fylla sitt lastutrymme. I dagens läge sker sophämtning oftast enligt ett tidschema med hämtning en eller två gånger i månaden (Avfall Sverige, 2017). Transportkostnaderna i denna studie representerar således kostnadsbilden för behovsanpassad sophämtning, och ej för befintlig schemalagd sophämtning. Mängden insamlat matavfall, jordbruksavfall, potential för fordonsgasproduktion samt transportkostnader beräknas i modellen. Dessa resultat används sedan för att beräkna produktionskostnader för fordonsgasproduktion vilket jämförs med det nuvarande marknadspriset för fordonsgas. Baserat på detta beräknas eventuell avkastning samt tid för denna. Produktionskostnader inom biogasanläggningar skiljer sig stort i landet (Dahlberg & Svensson, 2013). I denna studie har genomsnittet för produktionskostnaden baserats på data angiven från framförallt E.ON och ett antal anläggningars egna uppskattningar (Dahlberg & Svensson, 2013; Vestman m.fl., 2014). De ekonomiska slutsatserna som dras i denna studie skall således inte ses som representativ för biogasbranschen, utan som en inblick i hur det skulle kunna se ut för en viss anläggning.

1.3 Hjälpmedel och litteratur

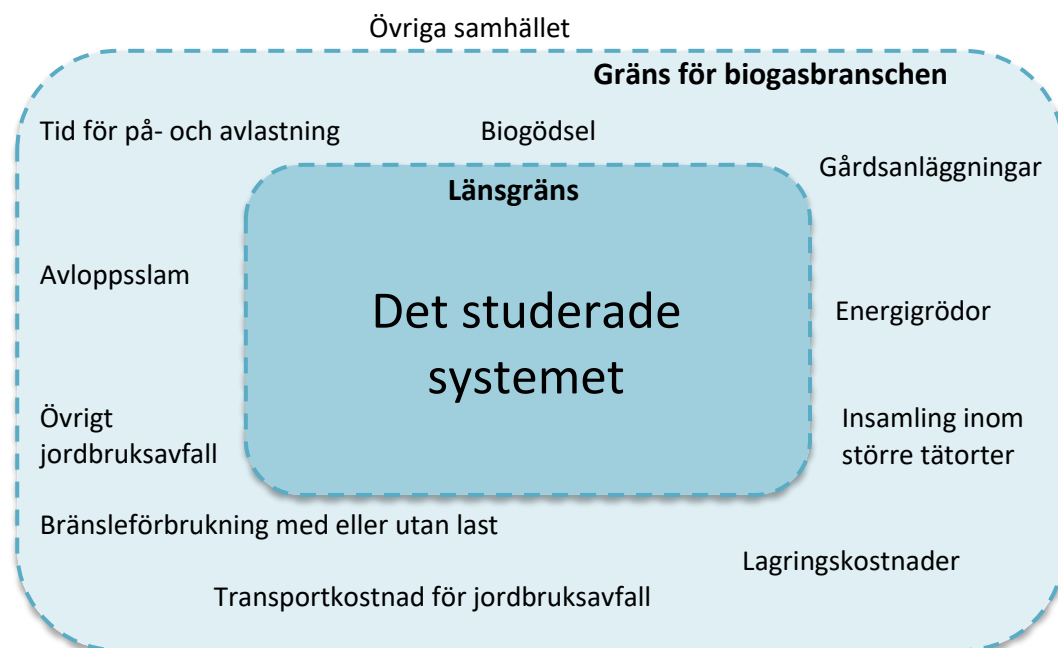
NetLogo är ett modelleringsprogram särskilt lämpligt för att modellera system med flertalet olika komponenter och samband, så kallad agent-baserad modellering (Vázquez & Caparrini, 2016).

Litteraturen i denna studie består av olika myndighetsrapporter samt studier och rapporter publicerade av branschföretag. Muntlig kontakt har skett med Uppsala Biogasanläggning för få en övergripande bild av hur transporter av substrat kan se ut på en anläggning över året.

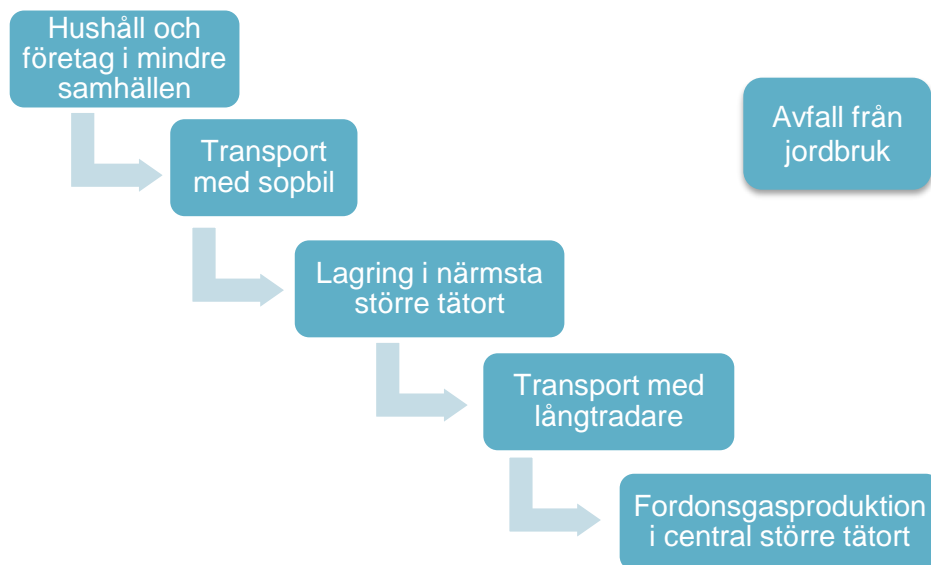
2 Metod

2.1 Systemgränser

I figur 4 visas en övergripande bild av biogasbranschen samt hur systemgränserna i denna studie är dragna. Figur 5 visar en övergripande bild av det studerade systemet.



Figur 4. Illustration av systemgränserna i studien.



Figur 5. Övergripande bild över det studerade systemet och modellens steg. Avfall från jordbruk i regionen räknas med i den regionala biogaspotentialen, dess transportkostnader ingår ej.

2.1.1 Tekniska avgränsningar

Den geografiska avgränsningen sker länsvis. Inom det aktuella länet utgör aggregationsnivån småorter och tätorter. Individuella hushåll slås ihop till en småort eller tätort. Tid för på- och avlastning är ej med i systemet på grund av svårigheter med programmering av denna funktion i NetLogo. Då de långa avstånden mellan orter är i fokus för denna studie är transporter för insamling av matavfall inom de större tätorterna ej med i systemet.

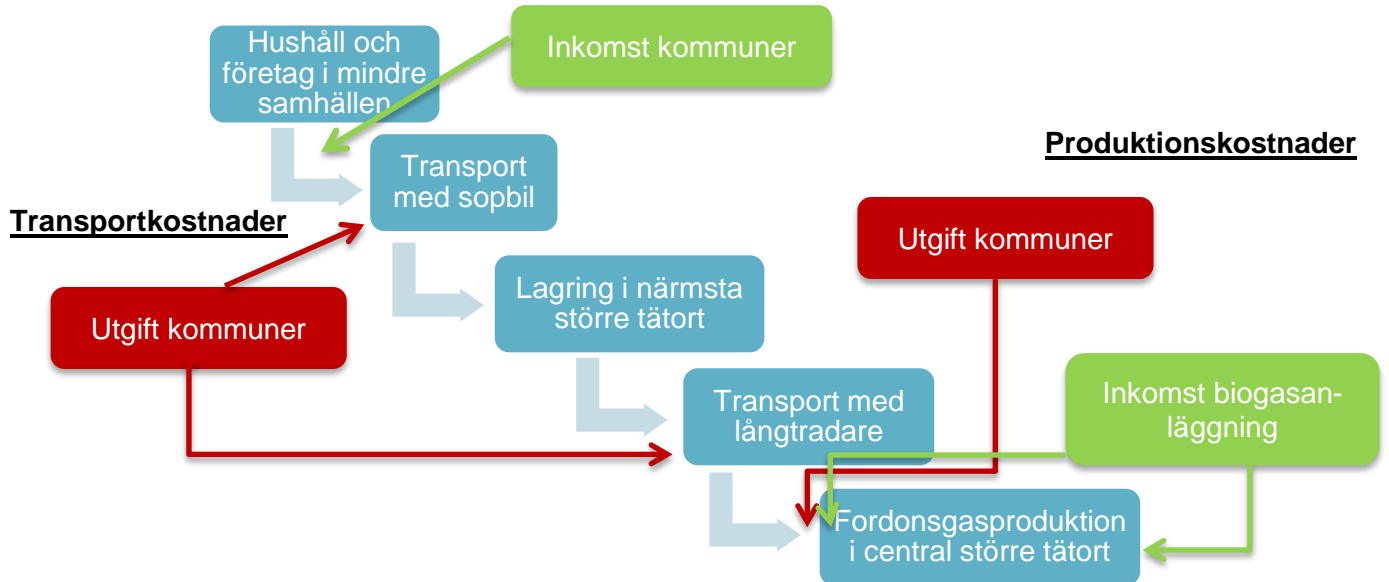
Avfallet från jordbruket består av gödsel från djurdrift samt bortsorterad matpotatis. Djurslagen som ingår är mjölkkor, kvigor, stutar, tjurar, kalvar, övriga kor, suggor, slaktsvin och fjäderfän. Övriga djurslag finns i liten mängd i de valda regionerna och anses ej påverka potentialen nämnvärt (Grönvall, 2017). Avfall från odling av andra grödor används redan i stor utsträckning på andra sätt inom jordbruket, alternativt så odlas ej grödor med tillgängligt avfall i de valda länen (Linné m.fl., 2008; Olsson, 2017). Matpotatis är således den enda aktuella grödan som odlas i tillräckligt stor mängd för att påverka potentialen.

Bränsleförbrukningen för både sopbilar och lastbilar är i studien konstant. Det är alltså ingen skillnad i bränsleförbrukning för turer med eller utan last. Detta beslut togs då data kring detta visat sig svårt att hitta.

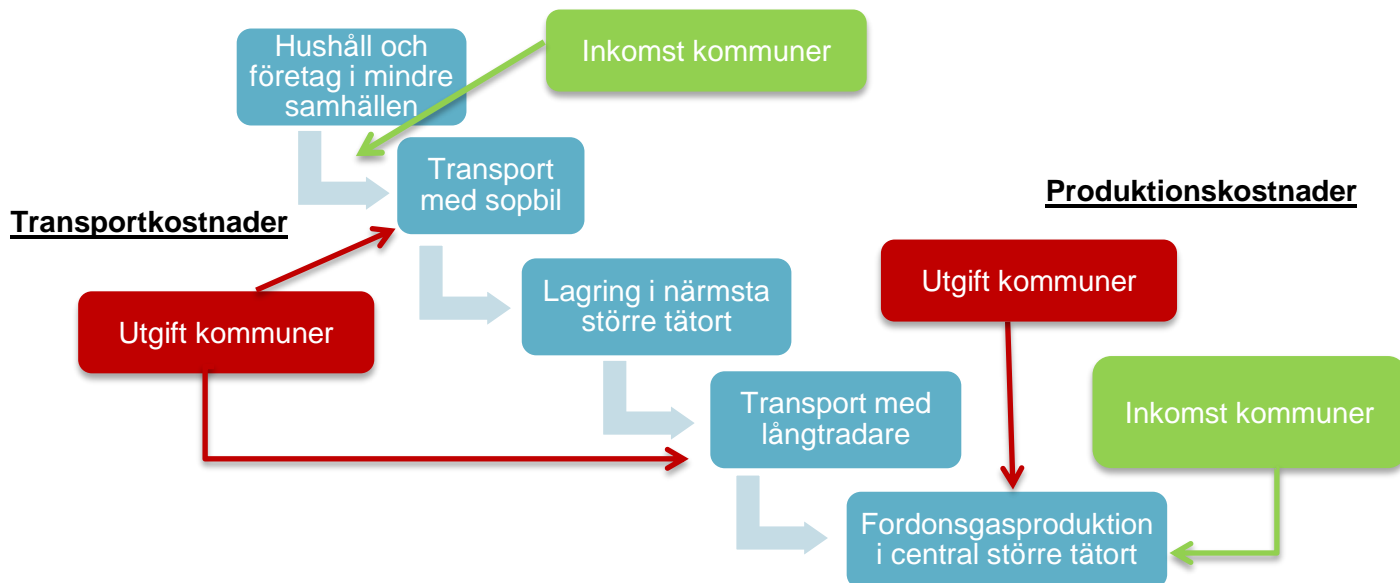
Antalet gårdsanläggningar för biogasproduktion har sedan 2009 ökat stadigt, år 2016 fanns 41 gårdsanläggningar i landet (Energimyndigheten, 2017b). Beroende på utformning kan gårdsanläggningar behandla både gödsel, odlingsrester och energigrödor (ibid.). Potentialen från befintlig och eventuellt utökad behandling i gårdsanläggningar ingår dock ej i studien. Vidare kan även biogasanläggningar i

anslutning till vattenreningsverk i vissa fall ta emot substrat såsom normalt, ”kvarnat”, matavfall (Jarvis, 2012). Möjligheterna för denna typ av anläggning är dock ej med i systemet.

2.1.2 Ekonomiska avgränsningar



Figur 6. Schematisk bild över kostnader för huvudaktörer inom modellen vid en privat ägd biogasanläggning. Kommunen har ansvar för sophantering och står för transporter från hushåll till biogasanläggning. Kommunen får en inkomst via sophämtningsavgiften. Kommunen betalar biogasanläggningen för att behandla deras matavfall. Biogasanläggningen får en inkomst vid mottagning av avfall samt vid försäljning av fordonsgas.



Figur 7. Schematisk bild över kostnader inom modellen då biogasanläggningen är kommunalt ägd. Kommunen har ansvar för sophantering och står för transporter från hushåll till biogasanläggning. Kommunen får en inkomst via sophämningsavgiften samt vid försäljning av fordonsgas.

Figur 6 och 7 visar hur kostnadsbilden kan se ut för en privat respektive kommunalt ägd biogasanläggning samt vilken del som i studien räknas som transportkostnader respektive produktionskostnader.

Transport- och produktionskostnader anses vara två skilda ekonomiska system. Detta på grund av att transportkostnader för sophämtning till stor del finansieras av hushållet eller företaget som producerat matavfallet genom den så kallade sophämningsavgiften (Avfall Sverige, 2017). Kostnaden för produktion och distribution av fordonsgas täcks dock av försäljning av fordonsgas (Vestman m.fl., 2014). Transporten och produktionen anses således täcka sina egna kostnader genom olika metoder vilket har lett till uppdelningen av kostnaderna i denna studie.

Biogödsel är en viktig biprodukt av biogasproduktion (Jarvis, 2012). I regel produceras lika mycket biogödsel som mängd tillfört substrat till röt-kammaren (ibid.). Beroende på substratets sammansättning bildas biogödsel av olika kvalitet vilket i sin tur avgör priset på gödseln. Då biogödseln kan vara både en inkomst eller en utgift är mängden biogödsel och dess pris ej medräknat i systemet.

2.2 Använd data, antagningar och beräkningar

2.2.1 Matavfall

Enligt Naturvårdsverket (2016) så producerar varje person 100 kg matavfall per år. Av dessa 100 kg slängs 44 kg i soporna, 25 kg sorteras och 26 kg spolade ned i avloppet. Utöver dessa 100 kg uppstår även matavfall som ej behandlas i hushållet: 7

kg från storkök, 7 kg från restauranger, 3 kg från livsmedelsbutiker och 8 kg från livsmedelsindustrin per person och år. Nästan hälften av denna mängd är dock svinn, alltså mat som slängs utan att ha använts (ibid.). 49 kg matavfall per person och år beräknas vara svinn, inklusive svinn från restauranger, storkök, butiker och hushåll. Matsvinnet från livsmedelsindustrin är okänt (ibid.). I FN:s globala mål för hållbar utveckling, Agenda 2030, är målet att halvera mängden matsvinn till år 2030 (Förenta Nationerna, 2015). Räknar man istället för en halvering med att 90 % av svinnet försvinner blir det 44,1 kg mindre matavfall per person och år. Detta är samma mängd matavfall som idag slängs i vanliga soporna. Antar man att samhället blir betydligt bättre på att källsortera matavfall kan alltså 44 kg mer matavfall källsorteras per person och år. Antar man dock samtidigt att samhället blir betydligt bättre på att minska sitt matsvinn så produceras 44,1 kg mindre matavfall varje år. Siffrorna tar ut varandra och således antas ingen ökad (eller minskad) mängd matavfall vara tillgänglig för biogasproduktion i framtiden. Den mängd matavfall som årligen spolas ned i avloppet är svårt att komma åt utan tekniska förändringar i hushållen såsom avfallskvarnar (Avfall Sverige, 2007). Därför antas denna mängd ej tillgänglig för källsortering. I denna modell används den utsorterade mängden matavfall, 25 kg per person och år, som den tillgängliga mängden för biogasproduktion. I de scenarier där även matavfall utanför hushållet samlas upp antas hela mängden matavfall från respektive kategori vara tillgängligt för upphämtning.

Matavfall antas ha en volymvikt på 0,45 kg per liter (Leander, Lundin, & Rytterstedt, 2007). Kärlen antas vara 140-liters sopkärl vilket ger en viktkapacitet på 63 kg per kärl. I genomsnitt bor två personer i varje hushåll (Statistiska centralbyrån, 2018b). Detta används för att beräkna den maximala lagringskapaciteten för respektive mindre ort. När kapaciteten når 50 % signaleras detta till sopbilarna som då prioriterar insamling från det berörda samhället.

2.2.2 Transporter

Bränsleförbrukningen har beräknas med hjälp av databasen Network for Transport Measures (Network for Transport Measures, 2018). Drivmedlet för alla studiens fordon antas vara Diesel B5 vilket är den vanligaste dieseln för tunga transporter i Sverige (ibid.). För en sopbil beräknas bränsleförbrukningen vara 0,124 liter per km. För en lastbil med släp vars högsta tillåtna totalvikt är 64 ton beräknas bränsleförbrukningen vara 0,501 liter per km. Dessa representeras i modellen av långtradare som hämtar substrat mellan större tätorter.

Priset på diesel är taget från drivmedelleverantören Circle Ks företagspris för diesel med högst 7 % förnybart innehåll, vilket var 15,84 kr per liter den 30 april 2018 (Circle K, u.å.). Övrig kostnad för transporten räknas i timkostnad och baseras på litteratur som uppskattar en total timkostnad för lastbilstransporter till cirka 900 kronor (Ljungberg, Gunnarsson, & de Toro, 2013). Timkostnaden exklusive bränslekostnad bestäms i denna modell till 800 kr per timme. Kostnaden för att

köra sop- och lastbilarna beräknas genom att summera kostnaden för drivmedlet med kostnaden för antal arbetstimmar körningen kräver.

Sopbilmodellen som används i studien är en två-axlad sopbil med bakre komprimator. Lastkapaciteten på BK2-vägar är 6 ton (Johansson, 2007). Långtradarmodellen som används i studien är en Volvo FMX 6x2 med en tjänstevikt på 13 ton, denna har ett flaksläp tillkopplat med en tjänstevikt på 8,9 ton (B.K:s Truck Equipment, u.å.; Volvo, u.å.). En 20 meters container och en 40 meters container väger tillsammans 6,1 ton och har en lastvolym på 90,9 kubikmeter (MCR, u.å.-a, u.å.-b). Utifrån tidigare nämnd densitet på matavfall, 0,45 kg per liter, och utifrån den tillåtna fordonsvikten på vägar med bärighetsklass 1 (BK1), 64 ton, kan maximalt 36 ton matavfall lastas på en långtradare (Transportstyrelsen, u.å.). Då det svenska vägnätverket till 95 % består av vägar med BK1 antas vägarna långtradarna kommer att köra på ha BK1 (Transportstyrelsen, 2014).

2.2.3 Befolkningsmängder

Befolkningsmängden för en större tätort bestäms till 10 000.

Västerbottens län har vid tidpunkten en total befolkningsmängd på 245 968 personer, se tabell 1 (Statistiska centralbyrån, 2018d). Av dessa bor 86 311 i Umeå och 35 852 i Skellefteå vilka är de två städer i länet som har minst 10 000 invånare. Resterande befolkning bor i 71 mindre tätorter och 173 småorter, hädanefter gemensamt kallade mindre orter (Statistiska centralbyrån, 2011). Totalt bor således 123 805 invånare i 244 mindre orter samt 122 163 invånare fördelat på två större tätorter. Antalet mindre orter avrundas till närmaste tiotal, 240 st. Västerbottens areal är vid tidpunkten 21 548,74 kvkm vilket avrundas till närmaste heltal, 21 549 kvkm (Statistiska centralbyrån, 2018c).

Dalarnas län har vid tidpunkten en total befolkningsmängd på 286 165 invånare, se tabell 1 (Statistiska centralbyrån, 2018c). Av dessa bor sammanlagt 121 371 invånare i de större tätorterna Avesta, Borlänge, Falun, Ludvika och Mora (Statistiska centralbyrån, 2018d). Resterande invånare bor i 109 mindre tätorter och 185 småorter (Statistiska centralbyrån, 2011). Totalt bor således 121 371 invånare i fem större tätorter och 165 028 invånare i 294 mindre orter. Antalet mindre orter avrundas till närmaste tiotal, 290 st. Dalarnas areal är vid tidpunkten 28 029,47 kvkm vilket avrundas till närmaste heltal, 28 029 kvkm (Statistiska centralbyrån, 2018c).

Tabell 1. Antal större tätorter (minst 10 000 invånare), avrundat antal mindre orter (högst 10 000 invånare), befolkningsmängder samt avrundad area i kvkm för Västerbotten och Dalarnas län (Statistiska centralbyrån, 2011, 2018a).

Län	Antal större tätorter	Antal mindre orter	Befolkningsmängd större tätorter	Befolkningsmängd mindre orter	Areal (kvkm)
Västerbotten	2	240	122 163	123 805	21 549
Dalarna	5	290	121 371	165 028	28 029

2.2.4 Rester från odling

Skördemängder per hektar är baserade på ett genomsnitt av produktionsområdena 4 till 7 då alla dessa ingår i de valda länen (Olsson, 2017). Även produktionsområde 8 ingår i de valda länen. Detta område har på grund av sin fjällnatur små skördar och liten mängd jordbruk (Olsson, 2017). Produktionsområde 8 skulle därför dra ned genomsnittet väsentligt trots att området ej är representativt för jordbruket i regionerna. På grund av detta valdes att genomsnittet enbart beräknas på produktionsområde 4 till 7.

Tidigare studier visar att av den totala skörden matpotatis sorteras i genomsnitt 9,5 % bort på grund av bl.a. röta eller deformationer (Linné m.fl., 2008). Av den bortsorterade potatisen antas hälften vara tillgänglig för biogasproduktion då bortsorterad matpotatis även används som djurfoder. År 2016 användes 252 hektar åkermark för odling av matpotatis i Västerbotten (Olsson, 2017). Motsvarande siffra för Dalarna var 810 hektar.

2.2.5 Rester från djurdrift

Andelen gödseltyp per djurslag viktas ihop till en genomsnittlig gödselmix för vartdera djurslaget. Exempelvis antas en mjölkko producera 70 % flytgödsel, 29 % fastgödsel och 1 % djupströ, se tabell 2. All gödseln som ett djur producerar är dock inte tillgängligt för biogasproduktion (Linné et al., 2008). Utifrån den tillgängliga mängden gödsel till biogasproduktion har den årliga totala tillgängliga mängden producerad gödsel per region beräknats: 321 012 ton för Västerbotten och 192 373 ton för Dalarna, se tabell 3. Jämfört med befintliga samrötningsanläggningar är detta stora mängder gödsel och substrat. En av Sveriges största biogasanläggningar, Jordberga, behandlar årligen 90 000 ton substrat från olika jordbruksrester och avfall från livsmedelsindustrin (Gasum, n.d.). Kristianstads biogasanläggningar har en kapacitet att årligen behandla 150 000 ton substrat från slakteriavfall, flytgödsel och matavfall från hushåll och livsmedelsindustrin (Jarvis, 2012). År 2011 var den totala mängden behandlat substrat 85 000 ton, varav 20 000 ton flytgödsel. Det anses således orimligt att det skulle finnas en investeringsvilja för biogasanläggningar i den storlek som krävs för att behandla all den beräknade mängden tillgängligt gödsel. I resultatdelen kommer därför matavfallet att kombineras med tre olika mängder gödsel: 100 %, 50 % samt 15 % av den tillgängliga gödseln.

Se bilaga 2 för fullständiga beräkningar.

Tabell 2. Potentiell fordonsgasproduktion per substrat samt förekomsten av de olika gödseltyperna hos vardera djurslaget i procent (%) (Carlsson & Uldal, 2009; Linné m.fl., 2008; Svenskt Gastekniskt Center AB, 2012).

Substrat	kWh/ton våtvikt	Mjölkkor	Tjurar, stutar och kvigor	Kalvar	Övriga kor	Suggor	Svin
Flytgödsel från nöt	119,15	70 %	25 %	25 %	25 %		
Fastgödsel från nöt	297,87	29 %	57 %	57 %	57 %		
Djupströ från nöt	402,12	1 %	18 %	18 %	18 %		
Flytgödsel från svin	158,86						95 %
Flytgödsel från suggor	158,86					45 %	
Fastgödsel från gris	297,87					45 %	5 %
Djupströ från gris	402,12					10 %	0 %
Gödsel från fjäderfä	335,10						

Jordbruksdata är tagen från Jordbruksverkets statistik för husdjur 2016 (Grönvall, 2017). Antalet djur avrundas till närmaste tiotal. Den avrundade data som använts i modellen finns i tabell 3.

Tabell 3. Jordbruksdata för djurdrift som använts i modellen. För vardera djurslaget anges antal djur per region och mängd tillgänglig gödsel per djur och år (Grönvall, 2017; Linné m.fl., 2008).

Jordbrukskategori	Ton gödsel per djur och år	Antal djur Väs- terbotten	Antal djur Da- larna
Mjölkkor	16,25	13 000	5 990
Kalvar	2,37	11 280	10 190
Tjurar, stutar & kvingor	4,21	11 850	9 350
Övriga kor	3,37	1 680	5 460
Suggor	4,71	1 060	1 120
Svin	2,38	6 620	2 630
Fjäderfän	0,03	78 310	49 540
Total tillgänglig mängd gödsel per region och år (ton):		321 012	192 373
50 % gödsel per region och år (ton):		160 506	96 186
15 % gödsel per region och år (ton):		48 152	28 856

2.2.6 Biogaspotentialer

Den beräknade fordonsgaspotentialen för studiens samtliga substrat redovisas i tabell 4. I tabell 5 redovisas fordonsgaspotentialen för de olika djurslag som använts i studien samt för matpotatis.

Det undre värmevärdet på metan har använts för att beräkna potentialerna för fordonsgasproduktion; 9,9289 kWh/Nm³ (Svenskt Gastekniskt Center AB, 2012)

Se bilaga 2 för fullständiga beräkningar.

Tabell 4. Beräknad produktion fordonsgas i kWh per ton våtvikt för vardera substratet. Se bilaga 2 för fullständiga beräkningar.

Substrat	kWh/ton våtvikt
Flytgödsel från nöt	119
Fastgödsel från nöt	298
Djupströ från nöt	402
Flytgödsel från slaktsvin	159
Flytgödsel från suggor	159
Fastgödsel från svin	298
Djupströ från svin	402
Gödsel från fjäderfän	335
Bortsorterad matpotatis	491
Matavfall hushåll, restauranger och storkök	1 241
Matavfall livsmedelsbutiker	765
Matavfall livsmedelsindustri	1 304

Tabell 5. Beräknad potentiell produktion av fordonsgas per år från olika jordbrukskategorier. För djur anges mängden fordonsgas i kWh/djur och år. För matpotatis anges mängden i kWh/hektar och år. Se bilaga 2 för fullständiga beräkningar.

Källa för substrat	kWh/djur & år eller hektar & år
Mjölkkor	2 384
Övriga kor	1 046
Suggor	982
Tjurar, stutar och kvigor	810
Matpotatis	641
Kalvar	574
Svin	384
Fjäderfä	10

2.2.7 Anläggningsekonomi

Enligt Dahlgren, Liljeblad, Cerruto, Nohlgren, & Starberg (2013) bedöms en kommunalt ägd biogasanläggning acceptera en avkastningstid på upp till 12 år. I samma rapport bedöms en privat ägd biogasanläggning acceptera avkastning inom max åtta år.

I en rapport från Naturvårdsverket anges investeringskostnader för ett antal svenska biogasanläggningar (Jarvis, 2012). Kostnaden för samröttningsanläggningarna i rapporten varierar i stort sett mellan 100 miljoner och 200 miljoner SEK. Utan att lägga närmare vikt vid anläggningarnas tekniska specifikationer används i studien investeringskostnader på 100 miljoner, 150 miljoner samt 200 miljoner SEK för att representera olika anläggningstyper. Uppskattningen tar ej hänsyn till anläggningarnas storlek, substratmängder, röt-kammarvolym, tekniska specifikationer, distribution etc.

Enligt Vestman et al. (2014) kan kostnadsbilden för produktion av fordonsgas delas upp i följande kategorier; produktion av rågas, uppgradering, distribution via gasnät eller vägnät samt underhåll av tankstationer. I deras rapport framgår att data samlats in från ett antal biogasanläggningar kring deras kostnadsbild för produktion av fordonsgas vilket sedan jämförts med tillgänglig litteratur, se tabell 6. Variationen i produktionskostnader skiljer sig stort mellan anläggningarna. Skillnaden mellan den lägsta och största produktionskostnaden är med en faktor 30. Skillnaderna anges kunna bero på olika investeringsbidrag, tekniska lösningar, ägandestruktur och kapacitet på anläggningarna (Vestman m.fl., 2014). I denna studie används det genomsnittslitteraturen i rapporten anger. Resonemanget som förs kring skillnader i ekonomiska förutsättningar antas dock gälla även i denna studie, och de använda produktionskostnaderna ska beaktas med försiktighet.

Tabell 6. Resultat från Svenskt Gastekniskt Center Rapport 2014:296, Genomsnittlig kostnadsbild för produktion och distribution av fordonsgas. Data anges i kr/kWh. (Vestman m.fl., 2014)

	Rågas- pro- duktion	Uppgrade- ring	Distribut- ion gasnät	Distribut- ion vägnät	Underhåll tankstat- ioner
SGC Rapport	0,86	0,32	0,08	0,15	0,07
Litteratur	0,56	0,30	0,15	0,15	0,15

En viktig del av kostnaden för produktion av rågas är substratets kvalitet, data kring detta har hämtats från Dahlberg & Svensson (2013). Kvaliteten beror i stor del på hur homogent substratet är. Utifrån detta har kostnad för rågasproduktion tagits fram för god samt sämre kvalitet på substratet, se tabell 7.

Tabell 7. Kostnad för produktion av rågas från matavfall, rester från jordbruk och gödsel i kr/kWh. Kostnaden anges för substrat av god kvalitet samt för substrat av sämre kvalitet (Dahlberg & Svensson, 2013).

Substrat	kr/kWh, god kvalitet	kr/kWh, sämre kvalitet
Matavfall	0,38	0,42
Odlingsrester	0,58	0,90
Gödsel	0,78	1,03

Baserat på dessa data har sedan produktionskostnaden för rågas beräknats i varje scenario. Kortfattat så har den totala kostnaden för rågasproduktion för vardera substratet beräknats, summerats och sedan dividerats med det totala antalet producerade kWh rågas. Detta har gett den kostnad för rågasproduktion i kr/kWh som används i resultatet för vardera scenariot.

Marknadspriset på fordonsgas vid tankstationer anges i kr/kg, den 24 maj 2018 låg priset på 19,21 kr/kg (Kraftringen, u.å.). Energiinnehållet i ett kg fordonsgas är 12,9 kWh (Gröna bilister, 2012). Priset för fordonsgas blir således 1,489 kr/kWh. Produktionskostnaden för fordonsgas behöver ligga under marknadspriset för att biogasanläggningen ska vara lönsam.

2.3 NetLogo

NetLogo är ett modelleringsprogram särskilt utvecklat för att behandla system med flertalet olika komponenter och samband däremellan (Vázquez & Caparrini, 2016). Programmet är lämpligt för så kallad ”agent-based modelling”, agent-baserad modellering. NetLogo ger även möjlighet att studera händelsestyrda relationer mellan komponenterna i systemet. Programmet är ett open-source program vilket betyder att det är gratis och tillgängligt för alla. Användare av programmet har även möjlighet att själva ladda upp sina modeller och dela med nätverket av NetLogoanvändare. NetLogo har ett eget programmeringsspråk som ger användaren möjlighet att skapa, styra och ta bort komponenter och samband. Programkoden

ges en visuell tolkning där användaren lätt kan följa hur systemet beter sig över tid. När modellen körs kan parametrar ej ändras. I byggnationen av denna studies modell har delvis användarkonstruerade modeller använts som mall för kodning och struktur. Framförallt har modellerna ”Link-Walking Turtles Example” och ”Preferential Attachment” använts för att konstruera koden för att skapa vägar mellan de olika orterna i modellen (Wilensky, 1999, 2005). Modellen ”Empty Bin City” har använts för att konstruera koden för sopbilarnas och långtradarnas avvägning huruvida de ska köra till en ort och samla in avfall eller ej (Tzivanakis, 2012).

2.4 Scenarier

Utgångspunkten för scenarierna är två län i Sverige, Västerbotten och Dalarna. Befolkningsmängd, antal större tätorter och mindre orter, jordbruksdata samt länets area är ej föränderliga parametrar under de olika scenarierna. De parametrar som ändras är antal sopbilar, sopbilarnas utformning samt ifall matavfall samlas in från restauranger, livsmedelsbutiker, storkök och livsmedelsindustrin. Tabell 8 visar parametrarna för de olika scenarierna. Sopbilar med ett fack kan frakta 6 ton matavfall (Johansson, 2007). Sopbilar med två fack samlar in både mat- och hushållsavfall och kan således enbart frakta 3 ton matavfall. I dessa fall delas transportkostnaden av både behandling av hushållsavfall (brännbart) och matavfall. I scenario x.1.1, x.1.2 och x.1.3 hämtas matavfallet av sopbilar med två fack, i scenario x.2.1, x.2.2 och x.2.3 hämtas matavfallet av sopbilar med ett fack. Matavfall från livsmedelsindustrin och storkök utesluts ur scenario V.1.2, V.2.2, D.1.2 och D.2.2, alla fyra kategorier utesluts i scenario V.1.3, V.2.3, D.1.3 och D.2.3. I de scenarier där färre insamlingskategorier finns behövs även färre sopbilar för att hämta matavfallet. För att uppnå en så effektiv insamling av matavfall som möjligt testades alla scenarier med olika antal sopbilar. Målet var att hitta det antal där inga orter höll på att få fulla sopkärl samtidigt som så få sopbilar som möjligt användes. Antalet sopbilar för vardera scenariot visas i tabell 8. I resultatet redovisas mängden matavfall som finns kvar ute i de olika orterna i slutet av modellens körning.

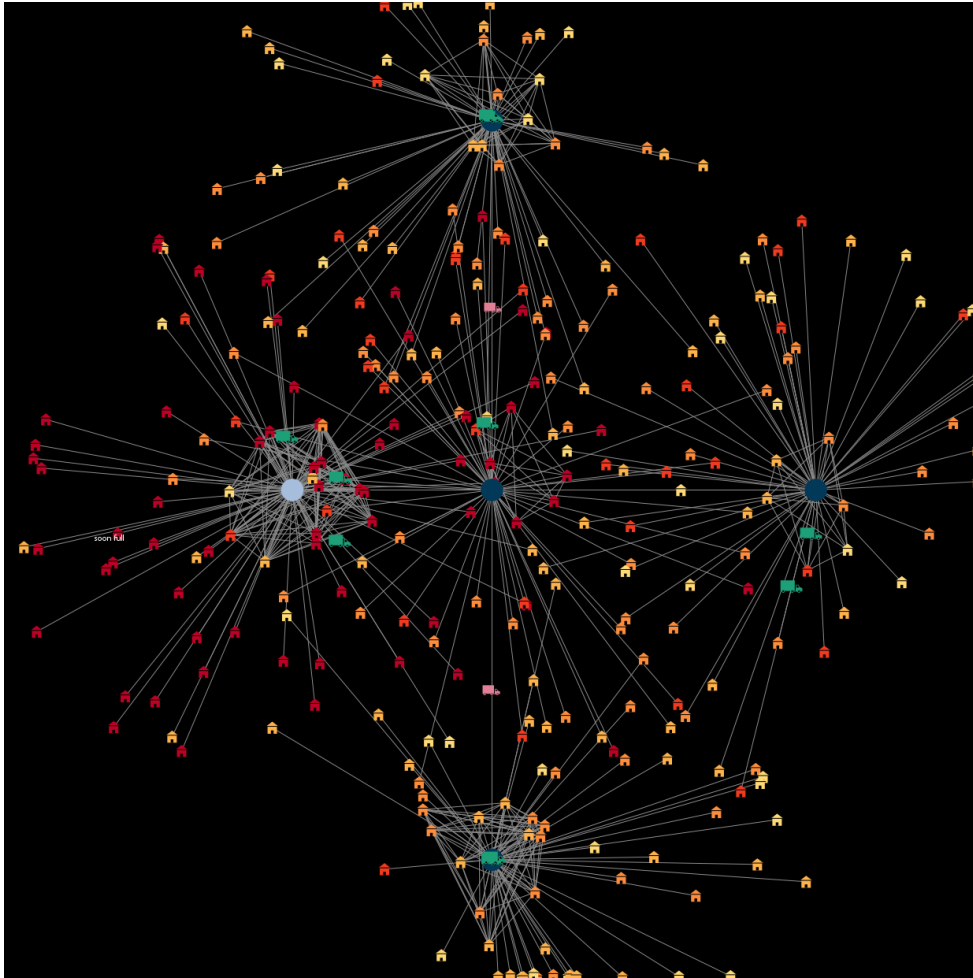
Antalet långtradare per scenario undersöktes på samma sätt. För samtliga V-scenarier används en långtradare. För samtliga D-scenarier används två långtradare.

Tabell 8. Parametrar för de olika scenarierna. V.x.x står för Västerbottens län och D.x.x står för Dalarnas län.

Scenario	Sopbilstyp	Antal sopbilar	Restauranger	Livsmedelsbutiker	Storkök	Livsmedelsindustri
V.1.1	Två fack	4	Ja	Ja	Ja	Ja
V.1.2	Två fack	3	Ja	Ja	Nej	Nej
V.1.3	Två fack	2	Nej	Nej	Nej	Nej
V.2.1	Ett fack	2	Ja	Ja	Ja	Ja
V.2.2	Ett fack	2	Ja	Ja	Nej	Nej
V.2.3	Ett fack	2	Nej	Nej	Nej	Nej
D.1.1	Två fack	3	Ja	Ja	Ja	Ja
D.1.2	Två fack	2	Ja	Ja	Nej	Nej
D.1.3	Två fack	2	Nej	Nej	Nej	Nej
D.2.1	Ett fack	2	Ja	Ja	Ja	Ja
D.2.2	Ett fack	2	Ja	Ja	Nej	Nej
D.2.3	Ett fack	1	Nej	Nej	Nej	Nej

2.5 Modellen

För att skapa systemet i NetLogo genererades det antal större tätorter, mindre orter, sopbilar och långtradare som parametrarna angav. De större tätorterna illustreras av varsin blå cirkel, se figur 8. De mindre orterna illustreras av varsitt hus. Sopbilar illustrerar av gröna lastbilar. Långtradare illustreras av rosa lastbilar. Vägar emellan de olika orterna illustreras av grå streck. Färgskalan på de större tätorterna och de mindre orterna baseras på hur stor mängd avfall som lagras i orten jämfört med genomsnittet. En mörkare färg anger en större mängd avfall.



Figur 8. Bild av modellens utseende i NetLogo med 5 större tätorter, 290 mindre orter, 8 sopbilar, två långradare samt vägnätverket emellan dem. Den centrala större tätorten ligger i mitten.

2.5.1 Större tätorter och mindre orter

En av de större tätorterna placerades centralt och de övriga spreds ut på ett slumpmässigt avstånd från den centrala orten som var minst 30 km och högst 60 % av avståndet till regionens kanter från mitten. Detta för att det ansågs orimligt att två större tätorter befinner sig på närmare avstånd från varandra än 30 km samt att det ansågs orimligt att större tätorter befinner sig på gränsen till en annan region. De mindre orterna valdes slumpvis att tillhöra en av de större tätorterna, vilket blev deras "hemstad", och placerades på ett slumpmässigt avstånd från denna som var minst 6 km och högst 60 % av avståndet till regionens kanter från mitten. Detta för att det ansågs orimligt att en mindre ort befann sig närmare en större ort än 6 km och att avståndet från en mindre ort till en större ort i modellen alltid är högst 60 % av avståndet till regionens kanter. Ifall avståndet från den mindre orten och dess hemstad vore större skulle den mindre orten vara närmare en annan större tätort och således höra till den.

Vägar skapades mellan de mindre orterna och deras hemstäder, samt mellan de mindre orter vars avstånd till hemstaden var högst 20 km. Detta för att illustrera en mer utvecklad infrastruktur runt större tätorter. Varje större tätort blev även tilldelad det antal sopbilar som parametern angav. Den centrala större tätorten blev tilldelad det antal långtradare som parametern angav. Den teoretiska biogasanläggningen antas ligga i den centrala större tätorten då denna är geografiskt närmast de övriga större tätorterna och således minskar transportavstånden av substrat.

De mindre orterna gavs vardera ett slumpmässigt antal invånare genom en normalfördelning där medelvärdet var den av parametern angivna populationen delat med antalet mindre samhällen och standardavvikelsen var 30 % av detta. Samma princip användes för att bestämma de större tätorternas respektive invånarantal. Beroende på vilket scenario som kördes gavs alla invånare en daglig produktion av matavfall som ackumulerades i deras respektive ort.

Den årliga avfallsmängden från jordbruk och dess biogasproduktion räknades ut direkt från de inmatade parametrarna och uppdaterades ej under modellens körning.

2.5.2 Transporter

Vid körning av modellen beräknade sopbilarna vilken av de mindre orterna som hade störst mängd matavfall. När mängden matavfall nådde sopbilens maximala lastkapacitet kördes sopbilen till orten och hämtade upp matavfallet. En sopbil kör dock aldrig till en ort som redan har en sopbil på väg till sig. Beroende på avståndet till orten ändrades vägförhållandena och således även sopbilens genomsnittliga hastighet. För en ort längre bort än 30 km ansågs vägförhållandena vara sämre och en medelhastighet på 50 km/h kunde hållas, för övriga orter hölls en medelhastighet på 70 km/h. Detta användes för att beräkna arbetstiden att köra till orten och tillbaka. Timkostnaden för arbetet och drivmedelskostnaden för sträckan lades ihop för att rapportera den totala kostnaden för transportsträckan.

I de fall där en mindre ort nådde hälften av sin lagringskapacitet markerades detta i modellen med texten "soon full" (snart fullt). En ledig sopbil prioriterar ett samhälle med denna markering före alla andra, dock ej om en annan sopbil redan är på väg dit. Ifall orten där matavfallet hämtats upp låg inom 20 km avstånd från hemstaden och ifall sopbilens maximala lastkapacitet ej var uppnådd körde sopbilen till närmaste närliggande samhälle för att effektivisera transporten.

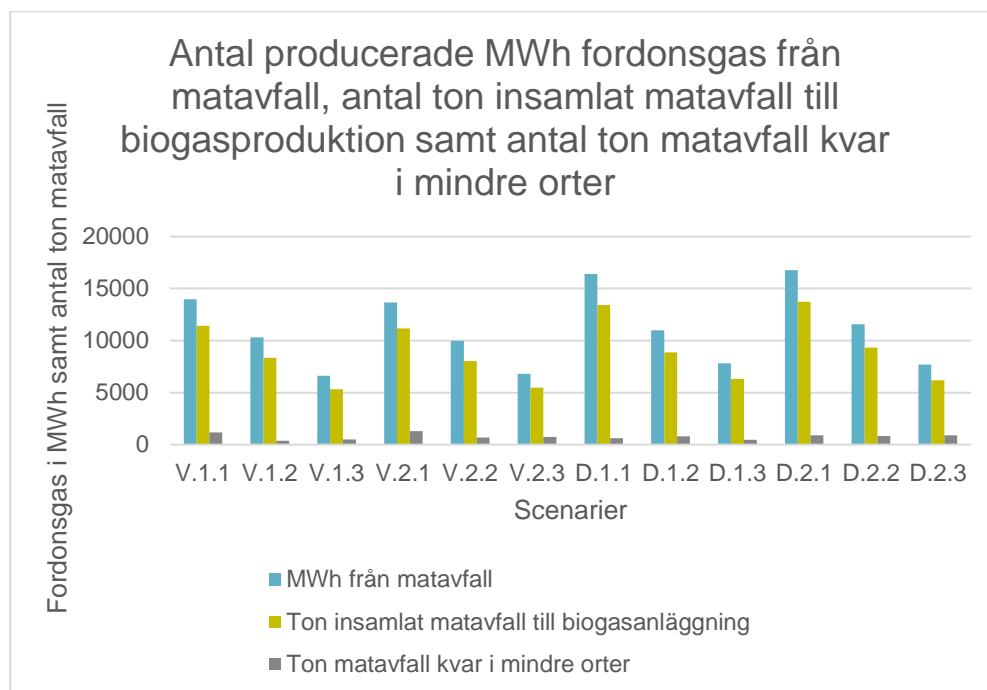
Matavfallet från sopbilarna lastades ur i deras respektive hemstad. Det matavfall som de större tätorternas invånare producerade genererades direkt i respektive större tätort och hämtas således ej upp av sopbilar i modellen. Långtradarna hämtade sedan matavfallet från de större tätorterna till biogasanläggningen i den centrala större tätorten.

Utifrån mängden insamlat avfall till biogasanläggningen har den årliga produktionen av fordonsgas beräknats.

3 Resultat

3.1 Matavfall

Utifrån modellens scenarier kunde olika mängder matavfall samlas in, se figur 9. För samtliga scenarier samlades störst mängd in då matavfall hämtades från alla samhällskategorier: hushåll, livsmedelsbutiker, restauranger, storkök och livsmedelsindustrin. I V.1.1 samlades 11 416 ton in, i V.2.1 11 175 ton, i D.1.1 13 416 ton och i D.2.1 13 722 ton. I de scenarier där matavfall enbart hämtades in från hushåll var den totala mängden insamlat matavfall ungefär hälften så mycket som för de scenarier som samlade in matavfall från samtliga samhällskategorier. I V.1.3 samlades 5 341 ton in, i V.2.3 5 473 ton, i D.1.3 6 300 ton och i D.2.3 6 197 ton. Mängden matavfall som fortfarande finns kvar i de mindre orterna är ett ungefärligt mått på hur effektiv sophämtningen har varit.



Figur 9. Årlig produktion av MWh från matavfall för de olika scenarierna. Årlig insamling av matavfall i ton till biogasanläggningen för de olika scenarierna. Årlig mängd matavfall som vid modellens slut är kvar i de mindre orterna.

3.2 Transportkostnader

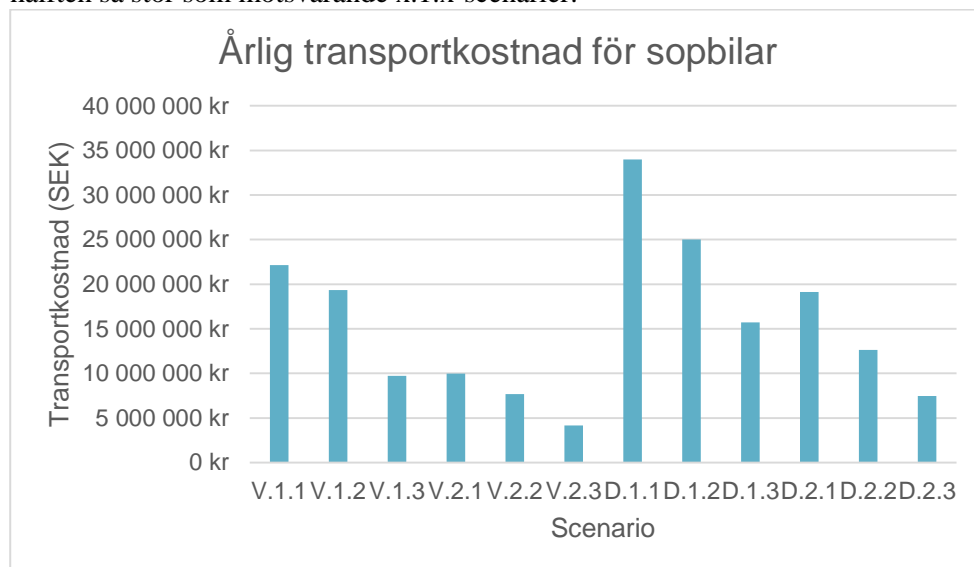
Den årliga transportkostnaden för sopbilar under modellens körning redovisas i figur 10. Kostnaderna är lägre för de scenarier där sopbilar med ett insamlingsfack används jämfört med motsvarande scenarier där sopbilar med två insamlingsfack används. Kostnaderna är även lägre i de scenarier där färre samhällskategorier källsorterar sitt matavfall. Högst transportkostnad för sopbilar har scenario D.1.1 med nästan 35 000 000 kr per år. Lägst transportkostnad för sopbilar har scenario V.2.3 med knappt 5 000 000 kr per år.

Liknande resultat ses för den årliga transportkostnaden för långtradare, se figur 11. Även här är kostnaden lägre i de scenarier där källsortering av matavfall sker i färre samhällskategorier. Dock kan ingen generell skillnad ses i transportkostnaden för långtradare beroende på sopbilstyp. Scenario D.1.1 har störst transportkostnader för långtradare med 5 000 000 kr per år. Scenario V.1.3 har lägst transportkostnader för långtradare med knappt 1 500 000 kr per år.

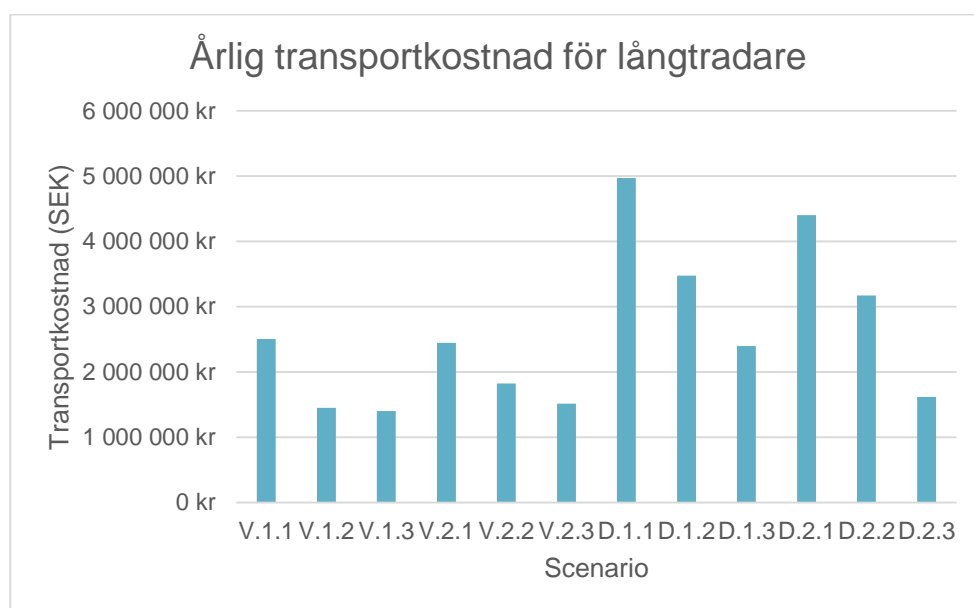
Den totala årliga transportkostnaden för både sopbilar och långtradare redovisas i figur 12. Det blir här tydligt att långtradarna står för en väldigt liten del av den totala transportkostnaden.

I figur 13 redovisas transportkostnaden i kr per producerad kWh fordonsgas. Kostnaden skiljer sig relativt lite mellan scenarierna med samma sopbilstyp i samma region. Oavsett vilka samhällskategorier som källsorterar matavfall är det alltså liknande transportkostnader per producerad kWh. Det skiljer sig dock mer mellan

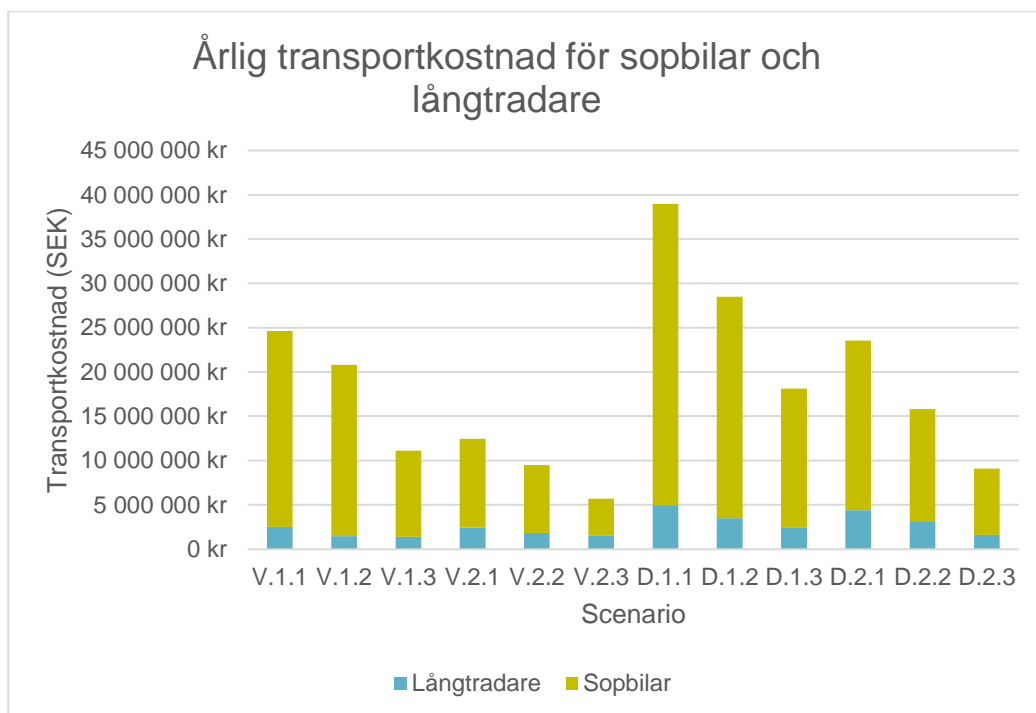
scenarierna med olika sopbilstyper men i samma region. För x.2.x-scenarier, scenarier med sopbilar med ett insamlingsfack, är transportkostnaden per kWh nästan hälften så stor som motsvarande x.1.x-scenarier.



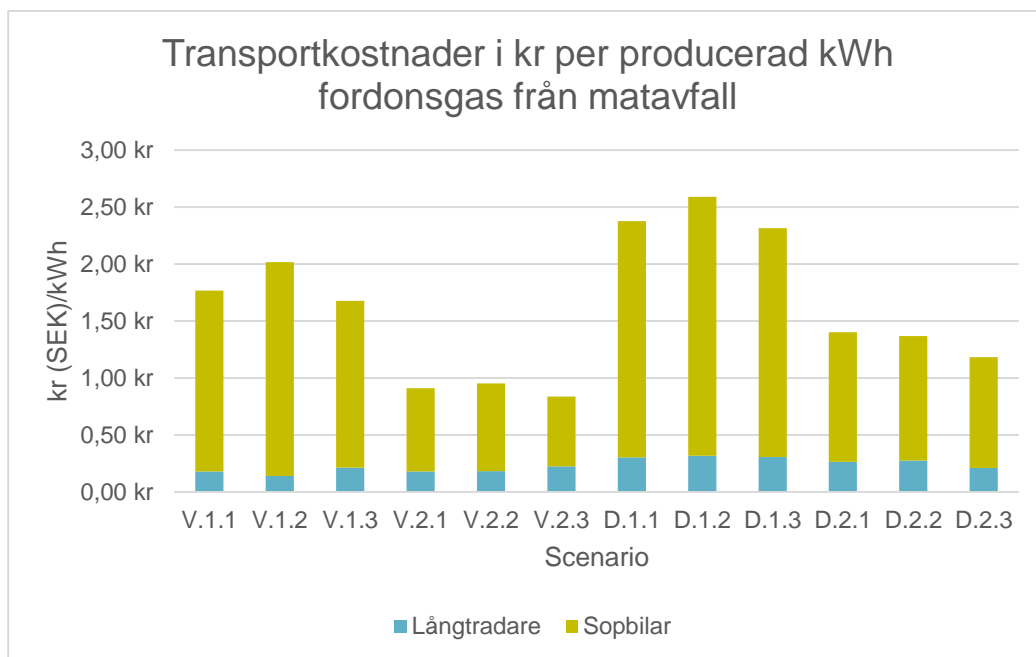
Figur 10. Total årlig transportkostnad (SEK) för sopbilar i de olika scenarierna.



Figur 11. Total årlig transportkostnad (SEK) för långtradare i de olika scenarierna.



Figur 12. Total årlig transportkostnad (SEK) för sopbilar och långtradare i de olika scenarierna. Kostnaden för sopbilarna är den gröna delen av stapeln och kostnaden för långtradarna är den blåa delen av stapeln.



Figur 13. Transportkostnader redovisade i kr (SEK) per producerad kWh fordonsgas från matavfall. Kostnaden för sopbilar illustreras av den gröna delen av stapeln, kostnaden för långtradare illustreras av den blåa delen av stapeln. Under vardera stapeln redovisas samma kostnad i siffror.

3.3 Jordbruksavfall

3.3.1 100 % gödsel

Då all tillgänglig gödsel används till biogasproduktion samlas över 300 000 ton gödsel och jordbruksavfall in i Västerbotten och nästan 200 000 ton i Dalarna, se tabell 9. I den slutgiltiga substratmixen består en väldigt liten andel av källsorterat matavfall, mellan 2 till 7 %. Ändå så står matavfallet för upp emot 30 % av den producerade mängden fordonsgas. I samtliga D-scenarier finnes en större andel matavfall i både substratmixen och som källa till producerad fordonsgas än i V-scenarierna. Andelen matavfall i substratmixen samt andelen producerad fordonsgas från matavfall minskar i de scenarier där färre samhällskategorier källsorterar sitt matavfall. I V-scenarierna är skillnaden i mängd matavfall i substratmixen ungefär hälften från V.1.1 till V.1.3 samt från V.2.1 till V.2.3. Matavfallet i scenario V.1.1 står för nästan 20 % av den producerade fordonsgasen, medan den i V.1.3 endast står för 10 %. Liknande mönster ses i V.2.1 jämfört med V.2.3, där andelen producerad fordonsgas från matavfall är 19 % respektive 11 %. I D-scenarierna är skillnaden mellan andel matavfall i substratmixen också en halvering från scenario D.1.1 till D.1.3 samt D.2.1 till D.2.3. Detta återspeglas även i andelen producerad fordonsgas från matavfall som i D.1.1 och D.2.1 är 30 % respektive 31 %. I scenario D.1.3 och D.2.3 är motsvarande siffra 17 % för bägge scenarier. Andelen matavfall i substratmixen och andelen producerad fordonsgas från matavfall halveras alltså båda från scenario D.1.1 och D.2.1 till scenario D.1.3 och D.2.3

Tabell 9. Årlig mängd substrat insamlad till biogasanläggningen (ton), årlig mängd producerad fordonsgas (MWh), andel fordonsgas från matavfall (%) samt andel matavfall i substratmixen (%) för samtliga scenarier då 100 % av tillgänglig gödsel används.

Scenario	Årlig mängd fordonsgas (MWh)	% fordonsgas från matavfall	% ton matavfall i substratmixen	Årligt substrat till biogasanläggning (ton)
V.1.1	70 755	19,7 %	3,4 %	332 755
V.1.2	67 109	15,4 %	2,6 %	329 646
V.1.3	63 427	10,4 %	1,6 %	326 680
V.2.1	70 461	19,4 %	3,4 %	332 514
V.2.2	66 756	14,9 %	2,4 %	329 362
V.2.3	63 592	10,9 %	1,7 %	326 812
D.1.1	53 859	30,4 %	6,5 %	206 842
D.1.2	48 455	22,7 %	4,4 %	202 287
D.1.3	45 277	17,3 %	3,2 %	199 726
D.2.1	54 233	30,9 %	6,6 %	207 148
D.2.2	49 018	23,6 %	4,6 %	202 740
D.2.3	45 149	17,0 %	3,1 %	199 623

3.3.2 50 % gödsel

Då 50 % av tillgänglig gödsel används till biogasproduktion samlades över 160 000 ton gödsel och jordbruksavfall in till V-scenarierna och nästan 100 000 ton till D-scenarierna, se tabell 10. I den slutgiltiga substratmixen består fortsatt en liten andel av källsorterat matavfall. Från 3 % för scenario V.1.3 och V.2.3 upp till 12 % för scenario D.1.1 och D.2.1. I de senast nämnda scenarierna står matavfall för nästan 50 % av den producerade fordonsgasen.

Likt det resultat då 100 % av gödseln används till biogasproduktion halveras även här andelen matavfall i substratmixen från x.x.1- till x.x.3-scenarierna. Andelen producerad fordonsgas från matavfall halveras dock inte. Skillnaden i producerad fordonsgas från matavfall är runt 40 % från x.x.1- till x.x.3-scenarierna istället för 50 % som i resultatet för 100 % använd gödsel.

Tabell 10. Årlig mängd substrat insamlad till biogasanläggningen (ton), årlig mängd producerad fordonsgas (MWh), andel fordonsgas från matavfall (%) samt andel matavfall i substratmixen (%) för samliga scenarier då 50 % av tillgänglig gödsel används.

Scenario	Total MWh fordonsgas	% MWh från matavfall	% ton insamlad substrat från matavfall	Total ton substrat till biogasanläggning
V.1.1	42 436	32,9 %	6,6 %	172 249
V.1.2	38 790	26,6 %	4,9 %	169 180
V.1.3	35 108	18,9 %	3,2 %	166 174
V.2.1	42 142	32,4 %	6,5 %	172 008
V.2.2	38 437	25,9 %	4,8 %	168 856
V.2.3	35 273	19,3 %	3,3 %	166 306
D.1.1	35 390	46,3 %	12,1 %	110 655
D.1.2	29 986	36,7 %	8,4 %	106 100
D.1.3	26 808	29,2 %	6,1 %	103 539
D.2.1	35 764	46,9 %	12,4 %	110 961
D.2.2	30 549	37,8 %	8,7 %	106 553
D.2.3	26 680	28,8 %	6,0 %	103 436

3.3.3 15 % gödsel

Då 15 % av tillgänglig gödsel används till biogasproduktion samlades nästan 50 000 ton gödsel och jordbruksavfall in till V-scenarierna och nästan 30 000 ton till D-scenarierna, se tabell 11. I den slutgiltiga substratmixen är det stor skillnad för hur stor andel som kommer från källsorterat matavfall. Från 10 % för scenario V.1.3 och V.2.3 upp till över 30 % för scenario D.1.1 och D.2.1. I de senast nämnda scenarierna står matavfall för över 70 % av den producerade fordonsgasen.

Likt de resultat då 100 % samt 50 % av gödseln användes till biogasproduktion halveras även här andelen matavfall i substratmixen från x.x.1- till x.x.3-scenarierna. Skillnaden i andel producerad fordonsgas från matavfall följer dock trenden

som syntes i resultatet med 50 % använd gödsel, istället för en halverad andel så minskar andelen bara med en tredjedel till en fjärdedel jämfört med x.x.1- till x.x.3-scenarierna.

Tabell 11. Årlig mängd substrat insamlad till biogasanläggningen (ton), årlig mängd producerad fordonsgas (MWh), andel fordonsgas från matavfall (%) samt andel matavfall i substratmixen (%) för samtliga scenarier då 100 % av tillgänglig gödsel används.

Scenario	Total MWh fordonsgas	% MWh från matavfall	% ton insamlat substrat från matavfall	Total ton substrat till biogasanläggning
V.1.1	22 613	61,7 %	19,1 %	59 895
V.1.2	18 967	54,4 %	14,7 %	56 826
V.1.3	15 285	43,4 %	9,9 %	53 820
V.2.1	22 319	61,2 %	18,7 %	59 654
V.2.2	18 614	53,5 %	14,2 %	56 502
V.2.3	15 450	44,0 %	10,1 %	53 952
D.1.1	22 461	73,0 %	31,0 %	43 325
D.1.2	17 057	64,5 %	22,9 %	38 770
D.1.3	13 879	56,3 %	17,4 %	36 209
D.2.1	22 835	73,5 %	31,5 %	43 631
D.2.2	17 620	65,6 %	23,7 %	39 223
D.2.3	13 751	55,9 %	17,2 %	36 106

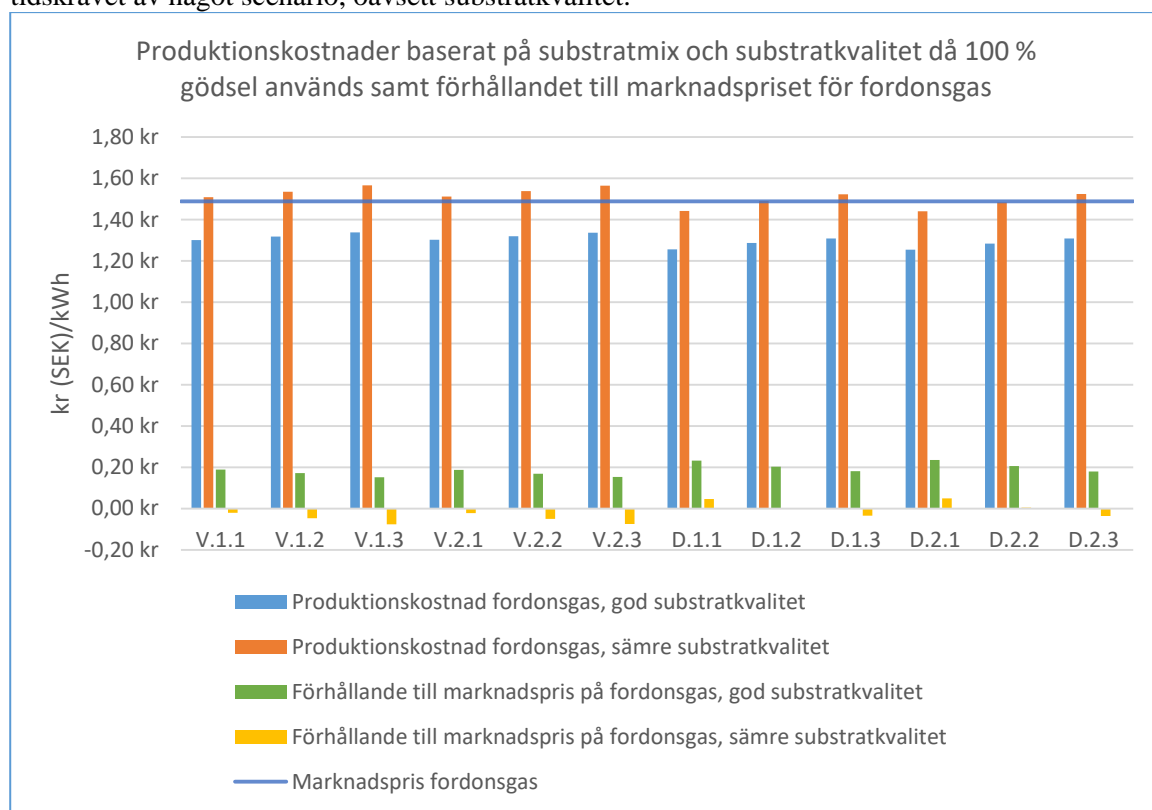
3.4 Anläggningskostnader och avkastning

Marknadspriset för fordonsgas antas vara 1,489 kr per kWh, se avsnitt 2.2.7. Den accepterade tiden för avkastning antas vara 12 år i en kommunalt ägd biogasanläggning och 8 år i en privat ägd biogasanläggning (Dahlgren m.fl., 2013). I resultatet redovisas den teoretiska tiden för avkastning vid en investering på 100 miljoner SEK, 150 miljoner SEK och 200 miljoner SEK. Beräkningar för produktionspris, substratkvalitet, accepterad tid för avkastning samt marknadspris för fordonsgas finns beskriva i sektion 2.2.7.

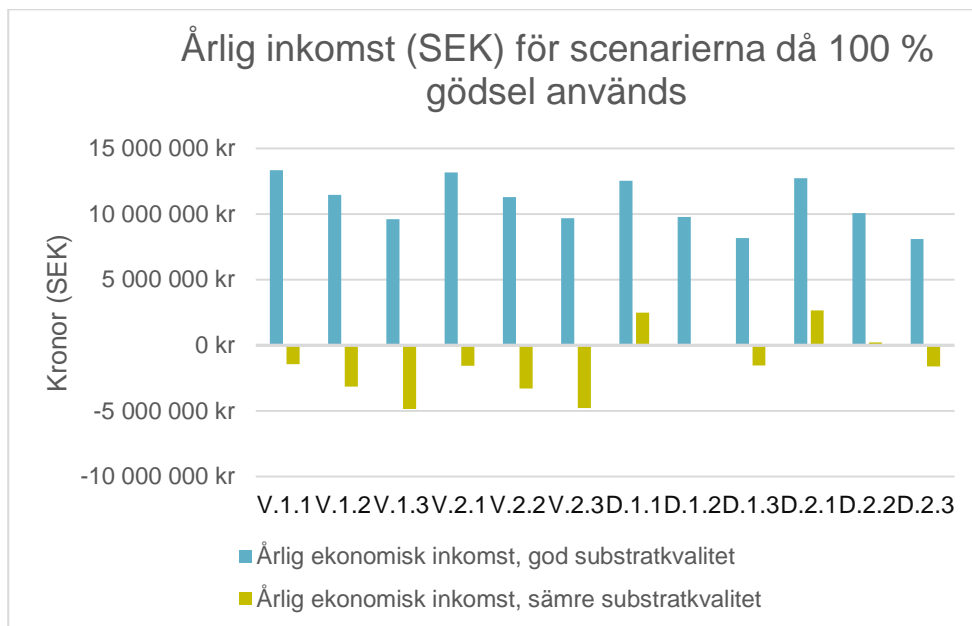
3.4.1 100 % gödsel

Gemensamt för alla scenarier är att produktionskostnaden per kWh fordonsgas ökar ju färre samhällskategorier som källsorterar sitt matavfall, se figur 14. Högst produktionskostnad per kWh vid god substratkvalitet har scenario V.1.3 och V.2.3 med 1,34 kr per kWh producerad fordonsgas. Lägst produktionskostnad vid god substratkvalitet har scenario D.2.1 med 1,25 kr per producerad kWh fordonsgas. Den totala årliga vinsten är störst för de scenarier som samlar in matavfall från samtliga samhällskategorier, se figur 15. Scenario V.1.1 har vid god substratkvalitet störst årlig vinst på drygt 13 miljoner SEK.

Då sämre substratkvalitet råder är det enbart tre scenarier som går med ekonomisk vinst: D.1.1, D.2.1 samt D.2.2, se figur 15. Övriga scenarier har högre produktionskostnad per producerad kWh fordonsgas än marknadspriset för fordonsgas. Ifall den årliga vinsten anses återkommande visar tabell 12 hur många år det skulle ta innan anläggningen har tjänat in sin investeringskostnad. Vid en investeringskostnad på 100 miljoner SEK skulle det i alla scenarier anses lönsamt för en kommunalt ägd biogasanläggning, förutsatt att anläggningen har god substratkvalitet. Scenario V.1.1, V.2.1, D.1.1 samt D.2.1 skulle även klara gränsen ställd för privat ägda biogasanläggningar på 8 år, även här enbart vid god substratkvalitet. Ifall anläggningarna får in substrat av sämre kvalitet uppnås inte avkastning inom accepterad tid för något av scenarierna. Vid en investeringskostnad på 150 miljoner SEK är det enbart scenario V.1.1, V.2.1, D.1.1 samt D.2.1 som uppfyller tidskravet för avkastning för en kommunalt ägd biogasanläggning, och enbart vid god substratkvalitet. Inget scenario uppfyller tidskravet för avkastning för en privat ägd biogasanläggning. Vid en investeringskostnad på 200 miljoner SEK uppfylls inte tidskravet av något scenario, oavsett substratkvalitet.



Figur 14. Produktionskostnader angett i kr (SEK)/producerad kWh fordonsgas för samtliga scenarier utifrån substratmixens sammansättning samt ifall substratet har god eller sämre kvalitet då 100 % av den tillgängliga gödseln används till biogasproduktion. Förhållandet till det nuvarande marknadspriset för fordonsgas, 1,489 kr/kWh, visas med den blå heldragna linjen.



Figur 15. Årlig inkomst i de olika scenarierna med god eller sämre substratkvalitet då 100 % av den tillgängliga gödseln används till biogasproduktion.

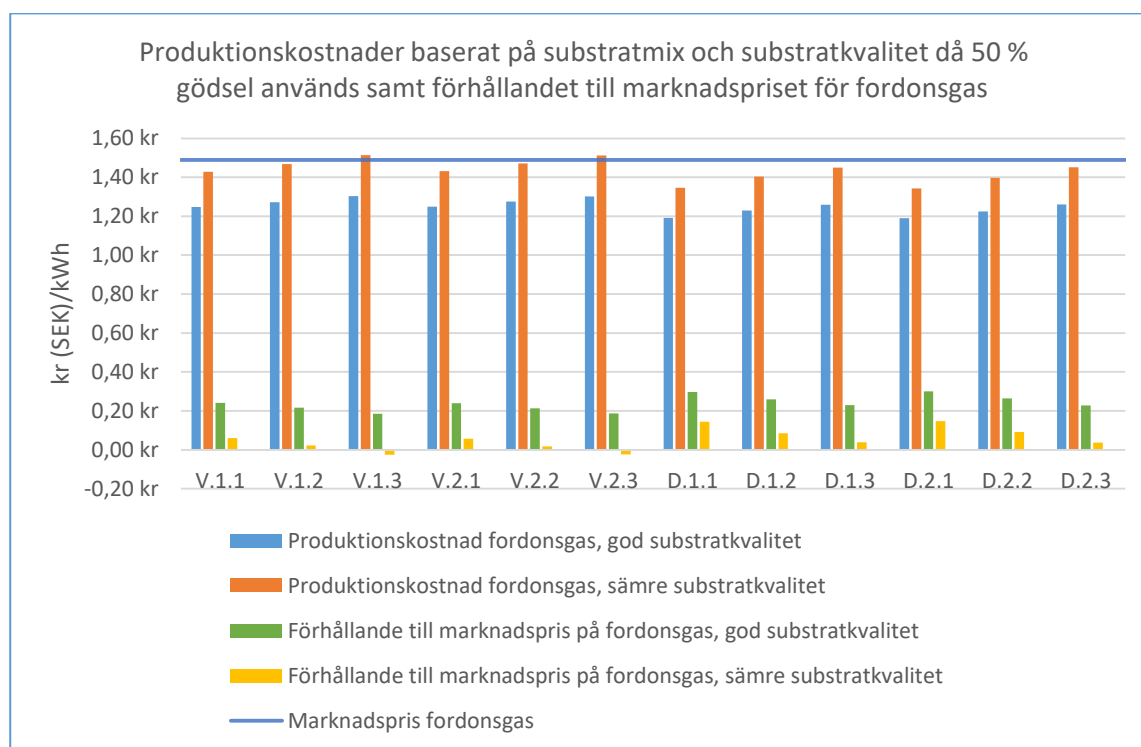
Tabell 12. Tid för avkastning i år beroende på investeringskostnad och substratkvalitet då 100 % av den tillgängliga gödseln används till biogasproduktion. Gröna rutor anger att tiden för avkastning är inom den acceptabla gränsen på 12 år för kommunalt ägda anläggningar. Blå rutor anger att tiden för avkastning är inom den acceptabla gränsen på 8 år för privat ägda anläggningar.

Scenario	100 milj kr i investeringskostnad		150 milj kr i investeringskostnad		200 milj kr i investeringskostnad	
	Tid för avkastning god substratkvalitet	Tid för avkastning sämre substratkvalitet	Tid för avkastning god substratkvalitet	Tid för avkastning sämre substratkvalitet	Tid för avkastning god substratkvalitet	Tid för avkastning sämre substratkvalitet
V.1.1	7	-	11	-	15	-
V.1.2	9	-	13	-	17	-
V.1.3	10	-	16	-	> 20	-
V.2.1	8	-	11	-	15	-
V.2.2	9	-	13	-	18	-
V.2.3	10	-	15	-	> 20	-
D.1.1	8	> 20	12	> 20	> 20	> 20
D.1.2	10	-	15	-	> 20	-
D.1.3	12	-	18	-	> 20	-
D.2.1	8	> 20	12	> 20	16	> 20
D.2.2	10	> 20	15	> 20	> 20	> 20
D.2.3	12	-	18	-	> 20	-

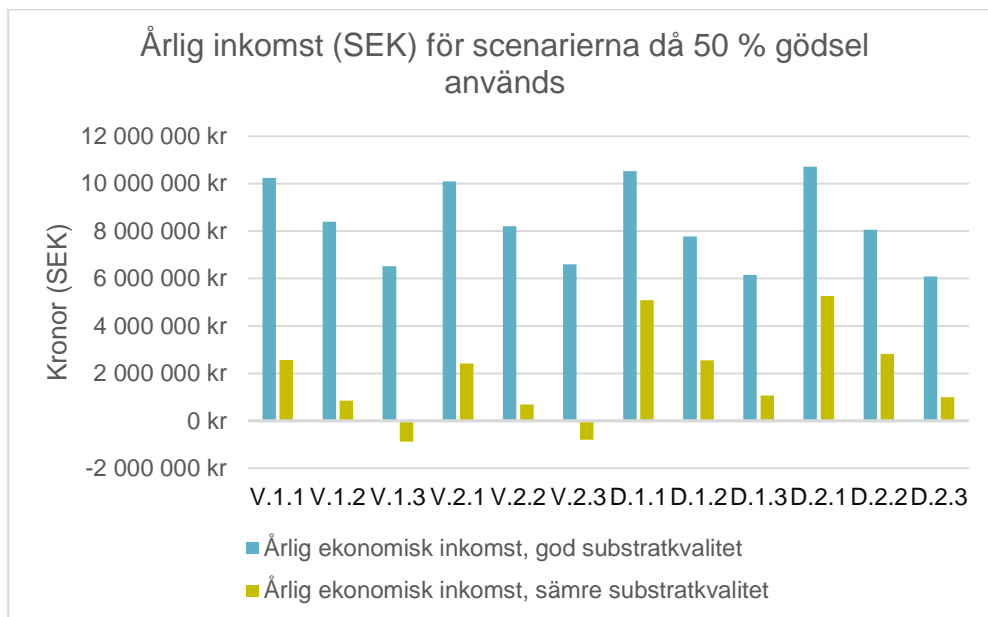
3.4.2 50 % gödsel

Då enbart 50 % av gödseln används till produktion av fordonsgas är produktionskostnaden per kWh producerad fordonsgas lägre för samtliga scenarier jämfört med samma scenarier vid 100 % gödselanvändning, se figur 14 och 16. Produktionskostnaden är lägst då matavfall samlas in från samtliga samhällskategorier. Scenario D.1.1 och D.2.1 har lägst produktionskostnad på 1,19 kr per kWh producerad fordonsgas vid god substratkvalitet. Vid sämre substratkvalitet är produktionskostnaden per kWh fordonsgas lägre än marknadspriset för samtliga scenarier förutom V.1.3 och V.2.3. Detta återspeglas i den årliga inkomsten som redovisas i figur 17, där samtliga scenarier förutom V.1.3 och V.2.3 går med vinst. Scenario V.1.1, V.2.1, D.1.1 samt D.2.1 har alla en årlig inkomst på över 10 miljoner SEK vid god substratkvalitet.

Trots lägre produktionskostnader per kWh fordonsgas är tiden för avkastning längre än då 100 % av gödseln använts. Vid en investeringskostnad på 100 miljoner SEK samt vid god substratkvalitet är det endast scenario V.1.1, V.1.2, V.2.1, V.2.2, D.1.1, D.2.1 samt D.2.2 som klarar tidsgränsen ställd för kommunalt ägda biogasanläggningar, se tabell 13. Inget scenario klarar tidsgränsen för privat ägda biogasanläggningar. Vid sämre substratkvalitet klarar inget scenario någon av tidsgränserna.



Figur 16. Produktionskostnader angivet i kr (SEK)/producerad kWh fordonsgas för samtliga scenarier utifrån substratmixens sammansättning samt ifall substratet har god eller sämre kvalitet då 50 % av den tillgängliga gödseln används till biogasproduktion. Förhållandet till det nuvarande marknadspriset för fordonsgas, 1,489 kr/kWh, visas med den blå heldragna linjen.



Figur 17. Årlig inkomst i de olika scenarierna för med god eller sämre substratkvalitet då 50 % av den tillgängliga gödseln används till biogasproduktion.

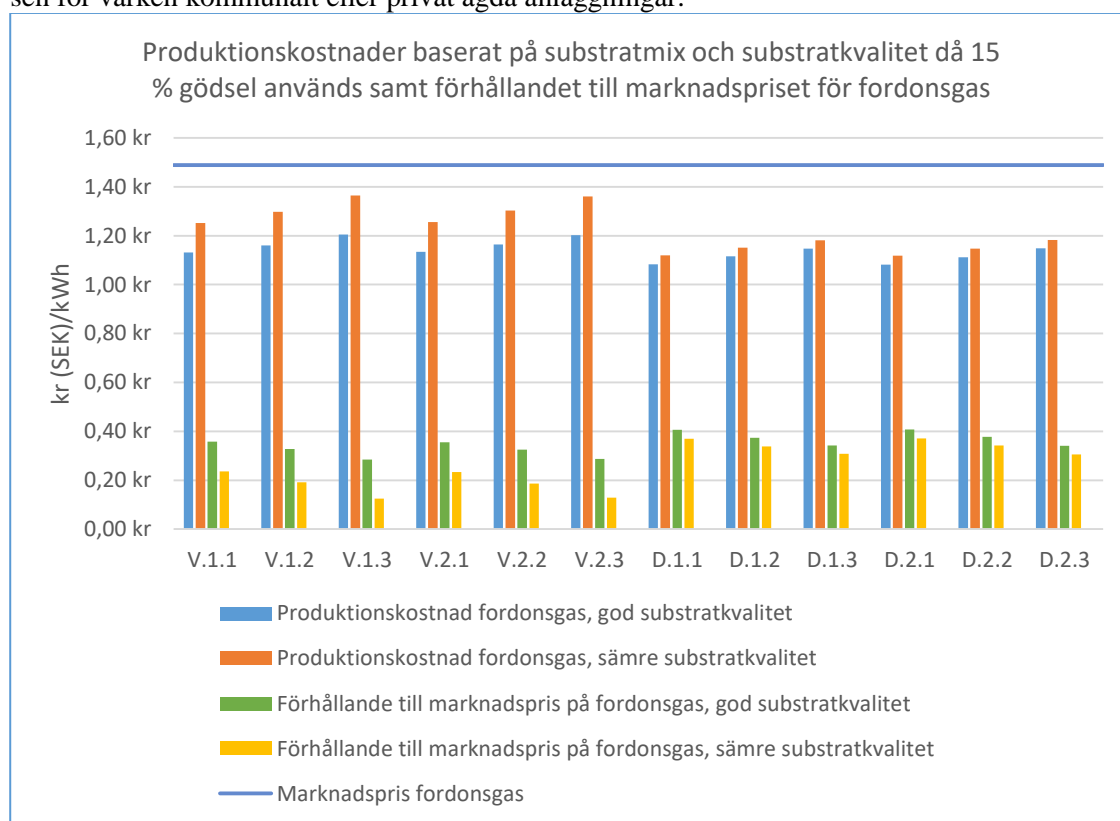
Tabell 13. Tid för avkastning i år beroende på investeringskostnad och substratkvalitet då 50 % av den tillgängliga gödseln används till biogasproduktion. Gröna rutor anger att tiden för avkastning är inom den acceptabla gränsen på 12 år för kommunalt ägda anläggningar.

Scenario	100 milj kr i investeringskostnad		150 milj kr i investeringskostnad		200 milj kr i investeringskostnad	
	Tid för avkastning god substratkvalitet	Tid för avkastning sämre substratkvalitet	Tid för avkastning god substratkvalitet	Tid för avkastning sämre substratkvalitet	Tid för avkastning god substratkvalitet	Tid för avkastning sämre substratkvalitet
V.1.1	10	> 20	15	> 20	> 20	> 20
V.1.2	12	> 20	18	> 20	> 20	> 20
V.1.3	15	-	23	-	> 20	-
V.2.1	10	> 20	15	> 20	> 20	> 20
V.2.2	12	> 20	18	> 20	> 20	> 20
V.2.3	15	-	23	-	> 20	-
D.1.1	9	> 20	14	> 20	19	> 20
D.1.2	13	> 20	19	> 20	> 20	> 20
D.1.3	16	> 20	24	> 20	> 20	> 20
D.2.1	9	19	14	> 20	19	> 20
D.2.2	12	> 20	19	> 20	> 20	> 20
D.2.3	16	> 20	25	> 20	> 20	> 20

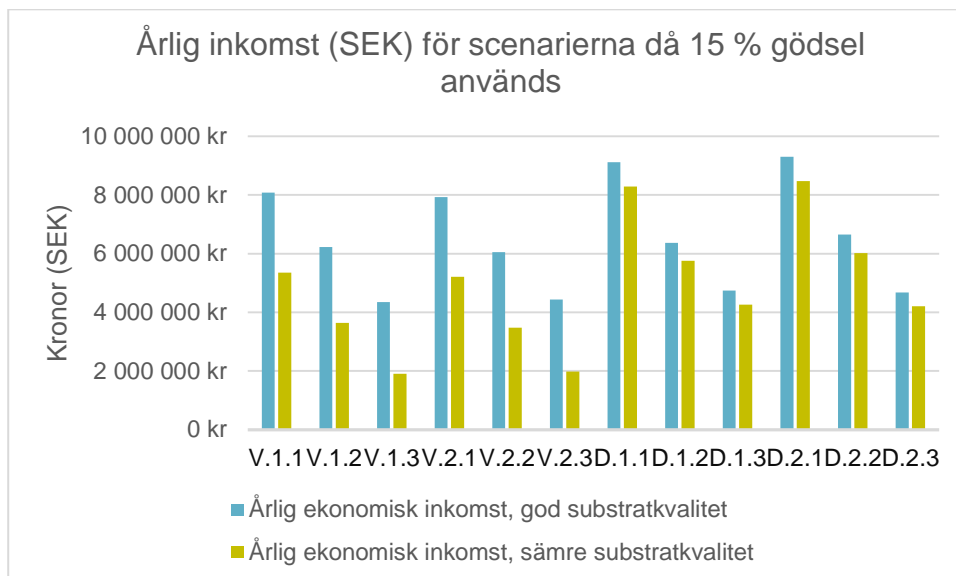
3.4.3 15 % gödsel

Produktionskostnaden per producerad kWh fordonsgas är ännu lägre då 15 % av gödseln används jämfört med när 100 % samt 50 % av gödseln används, se figur 18. Samtliga scenarier har en lägre produktionskostnad än marknadspriset för fordonsgas, oavsett substratkvalitet. Även här är produktionskostnaden lägst då matavfall samlas in från samtliga samhällskomponenter. Scenario D.2.1 har vid god substratkvalitet den högsta årliga inkomsten på drygt 9 miljoner SEK, se figur 19. Scenario V.1.3 har vid sämre substratkvalitet den lägsta årliga inkomsten på knappt 2 miljoner SEK.

Tidsgränsen för avkastning för en kommunalt ägd anläggning vid en investeringskostnad på 100 miljoner SEK samt vid god substratkvalitet nås av scenario V.1.1, D.1.1, D.2.1 samt D.2.2, se tabell 14. Dessa är de enda förutsättningarna för att något scenario ska anses tillräckligt lönsamt, övriga scenarier når alltså inte tidsgränsen för varken kommunalt eller privat ägda anläggningar.



Figur 18. Produktionskostnader angivet i kr/producerad kWh fordonsgas för samtliga scenarier utifrån substratmixens sammansättning samt ifall substratet har god eller sämre kvalitet då 15 % av den tillgängliga gödseln används till biogasproduktion. Förhållandet till det nuvarande marknadspriset för fordonsgas, 1,489 kr/kWh, visas med den blå heldragna linjen.



Figur 19. Årlig inkomst i de olika scenarierna med god eller sämre substratkvalitet då 15 % av den tillgängliga gödseln används till biogasproduktion.

Tabell 14. Tid för avkastning i år beroende på investeringskostnad och substratkvalitet då 15 % av den tillgängliga gödseln används till biogasproduktion. Gröna rutor anger att tiden för avkastning är inom den acceptabla gränsen på 12 år för kommunalt ägda anläggningar.

Scenario	100 milj kr i investeringskostnad		150 milj kr i investeringskostnad		200 milj kr i investeringskostnad	
	Tid för avkastning god substratkvalitet	Tid för avkastning sämre substratkvalitet	Tid för avkastning god substratkvalitet	Tid för avkastning sämre substratkvalitet	Tid för avkastning god substratkvalitet	Tid för avkastning sämre substratkvalitet
V.1.1	12	19	19	> 20	> 20	> 20
V.1.2	16	> 20	> 20	> 20	> 20	> 20
V.1.3	> 20	> 20	> 20	> 20	> 20	> 20
V.2.1	13	19	19	> 20	> 20	> 20
V.2.2	17	> 20	> 20	> 20	> 20	> 20
V.2.3	> 20	> 20	> 20	> 20	> 20	> 20
D.1.1	11	12	16	18	> 20	> 20
D.1.2	16	17	> 20	> 20	> 20	> 20
D.1.3	> 20	> 20	> 20	> 20	> 20	> 20
D.2.1	9	19	14	> 20	19	> 20
D.2.2	12	> 20	19	> 20	> 20	> 20
D.2.3	16	> 20	> 20	> 20	> 20	> 20

4 Diskussion

4.1 Osäkerheter

På grund av arbetets tidsomfattning har systemgränserna dragits snävt och många faktorer som kan påverka både insamlad mängd substrat som produktions- och transportkostnader är utelämnade, faktorerna illustreras i figur 4. Val av data samt modellens utformning påverkar även resultatet i olika stor utsträckning vilka diskuteras här.

I modellen har de flesta mindre orterna enbart vägar till sin respektive hemstad, se avsnitt 2.5.1. Konsekvensen av detta är att sopbilarna endast åker till en mindre ort åt gången och kör tillbaka till hemstaden emellan. I verkligheten är vägnätverket mer utvecklat och även mindre orter långt ifrån andra kan vara sammanknutna av vägar (Trafikverket, 2018). En mer effektiv sophämtning vore att samköra hämtningen av långväga mindre orter som ligger relativt nära varandra. Detta modelleringsval har troligtvis påverkat resultatet genom att de redovisade transportkostnaderna är högre än vad de skulle kunnat vara.

Det vore intressant att se hur arbetstiden för på- och avlastning av matavfall påverkar transportkostnaderna för både sopbilar och långtradare. Tidigare studier uppskattar att pålastning av en lastbil tar en timme (Ljungberg m.fl., 2013). För sopbilar är det svårare att uppskatta tid för pålastning då det beror på flertalet faktorer: antal sopkärl att tömma, avstånd mellan sopkärl, framkomlighet vid hushåll m.fl. Även bränsleförbrukningen med eller utan last påverkar transportkostnaderna. Dock utgör bränslekostnaden en marginell del av den totala transportkostnaden. Det är framförallt arbetstiden som drar upp transportkostnaden vilket ytterligare bidrar till att på- och avlastningstider troligtvis skulle påverka resultatet.

Vidare bör transporter av jordbruksavfall, som ej ingår i studien, utgöra en stor kostnad med hänseende på de stora volymer gödsel som används. Transportkostnaderna för sophämtning täcks till stor del av sophämningsavgiften (Avfall Sverige, 2017). För transporter av jordbruksavfall är det dock oklart vilken aktör som ska stå för kostnaden, jordbrukaren eller biogasanläggningen. Jordbruksavfall

hämtas ofta med lastbil eller långtradare (Ljungberg m.fl., 2013). I scenarierna varierar den årliga kostnaden för långtradare mellan 1 miljon SEK och 5 miljoner SEK. Det är alltså stora skillnader i kostnadsbilden för långtradartransporter. Således antas även kostnaden för transport av jordbruksavfall kunna skilja sig stort emellan lantbrukarföretag.

Mängden jordbruksavfall samt potentialen i dessa substrat är i stor del taget från samma källa: *Den svenska biogaspotentialen från inhemska produkter* av Linné et al. 2008. I den studien framgår att biogaspotentialer är svåra att uppskatta och att stora osäkerheter finns för olika substrat. Även den tillgängliga mängden jordbruksavfall anses svår att uppskatta. Då inga egna uppskattningar har gjorts kring dessa variabler finns en risk för att värdena är orealistiska för denna studie. Jämförelser i biogaspotentialen har dock gjorts med liknande studier (Carlsson & Uldal, 2009). De olika resultaten i studierna anses vara tillräckligt lika för att anta att värdena i Linné et al. (2008) är tillräckligt representativa.

Även data för produktionskostnader är tagna från en studie, *Kostnadsbild för produktion och distribution av fordonsgas* av Vestman et al. 2014. I studien framgår att stora skillnader i produktionskostnad finns i branschen. För att hantera dessa osäkerheter har kostnaden för produktion av rågas beräknats utifrån god kvalitet på substratmixen samt sämre kvalitet på substratmixen, detta förklaras i sektion 2.2.7. Trots denna hantering anses produktionskostnaden för fordonsgas i denna studie vara en grov uppskattning och generalisering.

Ytterligare en påverkansfaktor är valet att använda marknadspriset för diesel samt fordonsgas för en specifik dag. Drivmedelspriser varierar under året och en mer representativ kostnadsbild hade getts ifall genomsnittlig data använts, alternativt två olika priser på drivmedel (Energimyndigheten, 2017a). Detta har dock visat sig svårt att hitta. Emellertid utgör drivmedelskostnad en väldigt liten del av den totala transportkostnaden för sopbilar och långtradare vilket gör det troligt att även en stor skillnad i drivmedelskostnad enbart har liten påverkan på transportkostnaden. Variationer i priset på fordonsgas kan dock spela en större roll då biogasanläggningarna verkar under små marginaler (Vestman m.fl., 2014).

Alternativt till en central biogasanläggning där allt jordbrukssubstrat hanteras kan flertalet mindre gårdsanläggningar etableras utspridda över regionen. Denna lösning skulle innebära att de potentiellt långa transportererna från olika jordbruksföretag in till en central biogasanläggning försvinner. Då de mest reella mängderna substrat i studien nåddes då 15 % eller 50 % av gödseln togs tillvara på anses det rimligt att flertalet lantbruksföretag investerar i gårdsanläggningar för att hantera sin gödsel.

4.2 Matavfall

Ifall hushållen skulle sortera allt sitt matavfall skulle ytterligare 70 kg matavfall per person och år bli tillgängligt för biogasproduktion. Dock är 45 kg av dessa

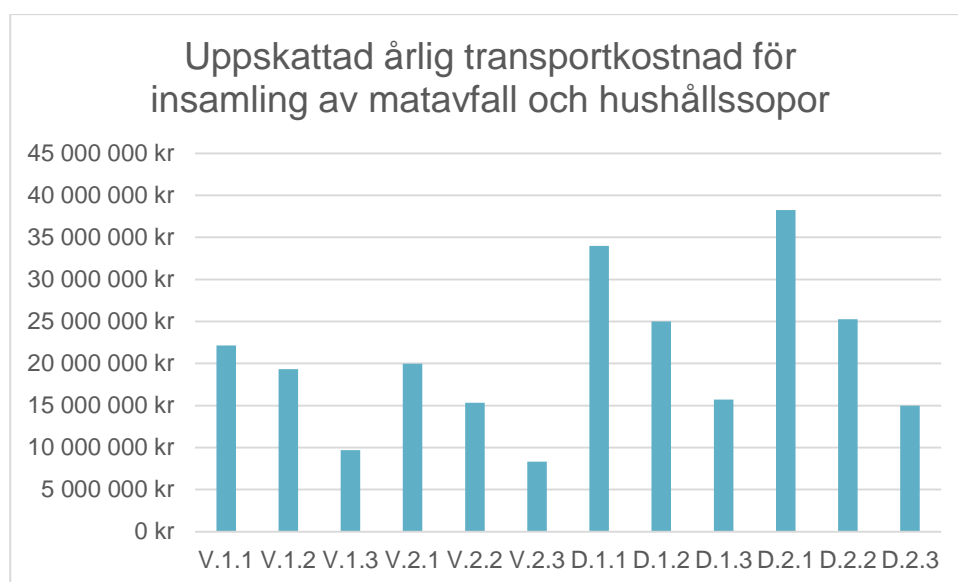
”onödigt avfall” som slängs innan det använts, resterande 25 kg är flytande avfall som hålls ut i avloppet (Elander, 2016). Då FN via Agenda 2030 har ställt målet att sänka mängden svinn med 50 % till år 2030 skulle den egentliga ökade mängden källsorterat matavfall vara 22,5 kg, hälften av matsvinnet (Förenta Nationerna, 2015). Ifall allt matavfall källsorterades samtidigt som matsvinnet minskade enligt Agenda 2030 skulle nästan är en fördubbling av mängden tillgängligt matavfall till biogasproduktion ske. I dagens läge är dock cirka en fjärdedel av hushållets matavfall flytande som hålls ut i avloppet. Denna del av matavfallet är svår att samla in på de konventionella sätten med plast- eller papperspåsar i sopkärl. Dock anses det troligt att en stor del av matavfallet som idag slängs i soporna skulle kunna källsorteras och användas till biogasproduktion. Vid uppskattningar av framtida mängder matavfall måste dock hänsyn tas till att regeringen har ett långsiktigt mål att minska mängden matsvinn samt att det flytande matavfallet är svårt att källsortera i dagens system.

Den insamlade mängden matavfall minskar i de scenarier där färre samhällskategorier källsorterar sitt matavfall. Ser man till Länsstyrelsen Dalarnas och Dalarnas kommuner samlade underlag för en kommunal avfallsplan så samlades år 2011 i genomsnitt 70 kg matavfall in per person (Länsstyrelsen Dalarna, 2013). Skillnaden mellan kommuner var stor, från den minsta mängden på 7 kg till 127 kg per person och år. Totalt samlades 21 977 ton matavfall in i länet. I de två scenarier i denna studie då mest matavfall samlades in, D.1.1 och D.2.1, samlades drygt 16 000 ton matavfall in, se figur 9. De 21 977 ton som i beslutsunderlaget samlats in i Dalarna är således betydligt mer än de drygt 16 000 ton som denna studie uppvisar (Länsstyrelsen Dalarna, 2013). Rikets genomsnitt på 25 kg källsorterat matavfall per person och år har använts i denna studie (Elander, 2016). Det är dock oklart hur stor spridning det finns i mängden källsorterat matavfall. Ser man till den spridning som presenteras i beslutsunderlaget så skiljer sig mängden med en faktor 18 från kommun till kommun (Länsstyrelsen Dalarna, 2013). Trots att Dalarna i verkligheten samlar in betydligt mer matavfall än vad denna studie visar anses resultatet troligt på grund av den stora spridning som finns i mängden källsorterat matavfall. Vid uppskattningar av framtida mängder källsorterat matavfall är det dock viktigt att hantera den stora skillnad som finns i sorteringsgrad mellan kommuner.

4.3 Transportkostnader

Transportkostnaden för sopbilarna täcks idag till stor del av sophämtningsavgiften invånare betalar till respektive kommun. För att viljan att ansluta sig till hämtning av matavfall istället för att självkompostera måste priset vara rimligt. Enligt en rapport från Avfall Sverige (2017) är den genomsnittliga årliga sophämtningsavgiften för en- och tvåfamiljshus 2246 SEK i Dalarna och 1928 SEK i Västerbotten. Motsvarande kostnad för flerbostadshus är 1399 SEK respektive 1304 SEK. Statistiken visar ej skillnad i pris ifall hushållen källsorterar matavfall eller inte. Ifall dessa siffror multipliceras med antalet hushåll i vardera länet uppgår den kommunala inkomsten från sophämtning till över 200 miljoner SEK för båda länen. Av

den årliga avgiften går ungefär hälften till transportutgifter för kommunen, alltså cirka 100 miljoner SEK per år (Avfall Sverige, 2017). Resterande går bl.a. till underhåll och drift av återvinningscentraler, administration och informationsspridning (Avfall Sverige, 2017). I scenarierna i denna studie är transportkostnaden mellan 5 miljoner och 33 miljoner SEK, se figur 4, vilket tyder på att avgifterna litteraturen anger skulle kunna sänkas för att uppmuntra ytterligare hushåll att ansluta sig till kommunal upphämtning av matavfall. Dock står de lägsta transportkostnaderna för de scenarier då sopbilar med ett fack användes. För kommunen tillkommer i verkligheten ytterligare transportkostnader för de sopbilar som ska hämta brännbart avfall. Ifall kostnaden för insamling av brännbart hushållsavfall är lika stor som kostnaden för insamling av matavfall ser transportkostnaderna ut som i figur 20. I alla scenarier förutom D.1.1 och D.2.1 samt D.1.2 och D.2.2 är det mer kostnadseffektivt att köra sopbilar med ett fack. Då uppskattningen för kostnad av insamling av brännbart avfall är väldigt grov kan dock inga generella slutsatser dras av detta.



Figur 20. Uppskattad årlig transportkostnad för insamling av matavfall och brännbart hushållsavfall för de olika scenarierna.

Det framgår också att kommuner med högre avgifter ofta har insamling av fler fraktioner (Avfall Sverige, 2017). En kommun med enbart hantering av en avfallstyp skulle kunna behöva ta ut en dyrare avgift inledningsvis för insamling av både matavfall och brännbart avfall, då investeringar i nya insamlingsfordon samt lagringsmöjligheter måste göras.

Transportkostnaderna för långträdare uppgick i scenario V.1.1 till drygt 2 miljoner SEK, och i scenario D.1.1 till 5 miljoner SEK. I båda scenarierna har liknande mängder matavfall transporterats, drygt 10 000 ton. Kostnaden för långträdartransporter skiljer sig dock med en faktor två, insamling i D-scenarierna kostar mest.

En trolig anledning till detta är att det i D-scenarierna finns fem större tätorter medan det i V-scenarierna bara finns två. Eftersom långtradarna ej hämtar upp avfall förrän de kan köra med full lastkapacitet ökar således chansen att det alltid är någon större tätort som behöver köras till ju fler större tätorter som finns.

Vidare så har även långtradarna en lägre årlig transportkostnad då matavfall samlas in från färre samhällskategorier. Detta beror högst troligt på att mindre mängder matavfall samlas in till de större tätorterna i dessa scenarier, och således finns även mindre mängder av matavfall att hämta för långtradarna.

4.4 Anläggningsekonomi

Oavsett substratkvalitet och andel använd gödsel är scenario V.1.1, V.2.1, D.1.1 och D.2.1 de mest ekonomiskt framgångsrika scenarierna. Detta kan härledas till kostnaden för rågasproduktion, som för matavfall är betydligt lägre än för gödsel, se tabell 7. Produktionskostnaden per kWh fordonsgas blir således lägre ju mer matavfall som finns i substratmixen. I ovan nämnda scenarier utgör matavfall en större andel av substratmixen än övriga scenarier, vilket troligtvis är anledningen till att dessa scenarier är de ekonomiskt mest framgångsrika.

Enligt Dahlgren et al. (2013) bedöms en kommunalt ägd biogasanläggning acceptera en avkastningstid på upp till 12 år. Denna gräns uppfylls endast då substratmixen har en god kvalitet och investeringskostnaden ej överstiger 100 miljoner SEK, samt i scenario V.2.1 och D.2.1 vid god substratkvalitet, 100 % av gödseln och en investeringskostnad på 150 miljoner SEK, se tabell 12, 13 och 14. Det som särskiljer V.2.1 och D.2.1 är att sopbilarna kan lasta 6 ton och att matavfall samlas in från alla kategorier; restauranger, livsmedelsbutiker, storkök, livsmedelsindustri och hushåll. Då transportkostnaden ej är en del av kostnadskalkylen för biogasproduktion är den enda skiljande faktorn mängden insamlat matavfall. En större mängd insamlat matavfall ger en större mängd substrat att använda till fordonsgasproduktion, och således en större potentiell inkomst då mer fordonsgas kan säljas. Liknande resonemang kan föras för de scenarier som klarar gränsen för en privat ägd anläggning, scenario V.1.1, V.2.1, D.1.1 samt D.2.1. Avkastning inom 8 år sker dock enbart vid en investeringskostnad på 100 miljoner SEK och då 100 % av gödseln används..

Skillnaden i tid för avkastning mellan scenario D.1.1 och D.1.2 är större än skillnaden mellan V.1.1 och V.1.2, se tabell 12, 13 och 14. De ändrade parametrarna mellan scenario x.1.1 och x.1.2 är att i x.1.2 sker insamling av matavfall endast från hushåll, livsmedelsbutiker och restauranger. Inget avfall samlas in från livsmedelsindustrin eller storkök. Dalarnas biogasanläggning har en större andel matavfall i sin substratmix. Mängden insamlat matavfall har således en större inverkan på biogasproduktionen i Dalarna än i Västerbotten. Detta är troligtvis anledningen till skillnaden för regionerna.

4.5 Producerad mängd fordonsgas

I tabell 15 kan mängd substrat och mängd producerad fordonsgas för verkliga anläggningar med liknande substratmix som i studien ses. Jämfört med dessa produceras betydligt mindre mängd fordonsgas per ton insamlat substrat i samtliga scenarier då 100 % eller 50 % av gödseln används.

Tabell 15. Insamlad mängd substrat för rötning och producerad mängd fordonsgas för tre svenska biogasanläggningar år 2011 (Jarvis, 2012).

Biogasanläggning	Ton substrat	MWh fordonsgas
NSR biogasanläggning i Helsingborg	74 000	36 000
Kristianstads biogasanläggningar	85 000	34 000
Biogasanläggningen i Västerås	20 400	26 500

En trolig anledning till den låga effektivitet som syns i studien är den stora andelen flytgödsel i substratmixen. Flytgödsel från nöt innehåller endast 119,15 kWh per ton våtvikt medan fastgödsel innehåller 297,87 kWh per ton våtvikt, se tabell 2. Skillnaden blir ännu större vid jämförande av matavfall från hushåll som innehåller 1 241,11 kWh per ton våtvikt. Detta blir även tydligt då man ser till andelen matavfall i substratmixen och andelen producerad fordonsgas från matavfall. I alla scenarier med 100 % av gödseln utgör matavfall under 7 % av substratmixen. Av den producerade fordonsgasen kommer dock över 10 % från matavfall i alla scenarier, upp till 30 % för scenario D.1.1 och D.2.1. Ser man till scenarierna med 15 % av gödseln är effektiviteten högre. Här står matavfallet för mellan 44 – 73 % av den producerade fordonsgasen i samtliga scenarier, se tabell 11. I alla scenarier är energiutbytet i Dalarnas anläggning störst. Detta kan härledas till den större andelen matavfall i deras substratmix, se tabell 9, 10 och 11. Då matavfall har en högre biogaspotential än gödsel ger således en större andel matavfall i substratmixen ett högre energiutbyte.

4.6 Sammanfattning

Den insamlade mängden matavfall som studien visar anses rimlig. I litteraturen syns dock en stor skillnad mellan mängden källsorterat avfall i olika kommuner, vilket tyder på att den faktiska insamlade mängden troligtvis varierar. Då matavfall har ett högt energiinnehåll jämfört med jordbruksavfall är det viktigt att källsortering och insamling sker från så många samhällskategorier som möjligt. Även ifall personer blir bättre på att källsortera matavfall måste samtidigt matsvinnet minska. Det är därför viktigt att vara försiktig i uppskattningar av potentiella mängder matavfall. Ifall anläggningen ska ta emot gödsel från kringliggande jordbruk måste den vara anpassad till stora volymer.

Att dieselpriset är taget för en dag trots att det varierar under året spelar antagligen liten roll i den slutgiltiga transportkostnaden. Variationer i priset på fordonsgas tros dock spela större roll för anläggningsekonomi och således investeringsviljan. Trots den behovsstyrda inhämtningen av matavfall som använts i denna studie kan transporter effektiviseras ytterligare. Framförallt med avseende på vägnätet mellan mindre orter. I genomsnitt kan dock kostnaden för sophämtning sänkas i länen utifrån modellens resultat. Det finns stora skillnader i sophämningsavgift mellan kommuner och den egentliga avgiften för sophantering kan skilja än studiens genomsnitt. Sopbilar med ett fack är marginellt billigare i drift än sopbilar med två fack. Detta beror på att en lika stor kostnad beräknas tillkomma för hämtning av övriga hushållssopor. Den reella transportkostnaden antas vara högre än vad studien visar då tid för på- och avlastning ej är beräknade.

Även fast skillnader finns i kostnaden för långtradartransporter mellan scenarierna utgör långtradartransporterna en liten del av den totala transportkostnaden. Kostnaden för långtradartransporter verkar öka ju fler större tätorter som finns i regionen. Kostnaden för transport av jordbruksavfall kan spela stor roll i anläggningens ekonomiska förutsättningar, särskilt då det är oklart vilken aktör som ska stå för insamlingen av detta substrat. En utveckling med fler gårdsanläggningar med gödsel som huvudsubstrat anses vara ett troligt sätt att hantera kostnaden för de långa gödseltransporterna samt gödselmängderna i länet

Kostnadsbilden för produktion av fordonsgas skiljer sig stort mellan anläggningar. De slutsatser som dras här kan ej ses som representativt för biogasbranschen, utan endast ett axplock av hur det kan se ut. Med detta i åtanke visar resultatet att investeringskostnaden för en samrötningsanläggning ej får övergå 100 miljoner SEK. I de scenarier där matavfall samlas in från alla samhällskategorier samt 100 % av gödseln används kan investeringskostnaden nå 150 miljoner SEK, men enbart ifall anläggningen ägs i kommunal regi.

Sammanfattningsvis visar studien att insamling av källsorterat matavfall samt jordbruksrester för produktion av fordonsgas är lönsamt under vissa förutsättningar. Framförallt bidrar andelen matavfall i substratmixen till ökad ekonomisk lönsamhet för anläggningen. Samhället och miljön har även att vinna på ökad produktion av fordonsgas då det innebär ökad hushållning med våra resurser samt ett minskat beroende och användande av fossilt bränsle.

5 Slutsats

Etablering av samrötningsanläggningar i regioner med stor del glesbygd kan utifrån denna studie motiveras under vissa förutsättningar.

- Investeringskostnaden får ej överstiga 100 miljoner SEK. Ifall matavfall samlas in från samtliga samhällskategorier samt all regionens gödsel används till biogasproduktion kan investeringskostnaden uppgå maximalt 150 miljoner SEK, men då endast ifall anläggningen är kommunalt ägd. Det senast nämnda scenariot anses dock orealistiskt.
- Biogasanläggningen måste få in en substratmix av god kvalitet.
- Andelen gödsel i substratmixen måste kontrolleras för att få en substratmix med liten volym och högt energiinnehåll.
- En noggrann kalkyl för vilken typ av sopbil som vore mest kostnadseffektiv för olika kommuner bör göras för att undersöka eventuell prishöjning eller sänkning av sophämningsavgiften.

Vidare studier kan med fördel göras på ytterligare effektivisering av avfallshämtningen med sopbilar. Att kombinera behovsstyrd insamling med ett reellt vägnät skulle ge en bättre bild av hur systemet för sophämtning kan förbättras. Fortsättningsvis skulle en jämförelse av klimatpåverkan från kompostering mot klimatpåverkan från matavfallshämtning vid långa transportavstånd ge en indikation på hur pass stor klimatnytta ökad insamling av matavfall skulle kunna ge.

Referenslista

- Avfall Sverige. (2007). *Insamlingsystem för matavfall från restauranger, storkök och butiker* (No. Rapport 2007:09). Malmö: Avfall Sverige.
- Avfall Sverige. (2017). *Hushållsavfall i siffror: Kommun- och länsstatistik*. Malmö.
- B.K:s Truck Equipment. (u.å.). Kombinationssläp. Hämtad 15 maj 2018, från <http://www.bkstruck.se/products.php?ca=26&pr=28>
- Carlsson, M., & Uldal, M. (2009). *Substrathandbok för biogasproduktion* (No. SGC 200). Svenskt Gastekniskt Center AB.
- Circle K. (u.å.). *Drivmedelspris för våra truckdieselmotorer*. Hämtad 30 april 2018, från https://www.circlek.se/sv_SE/pg1334072868904/foretag/Truck/Pris-truckdiesel.html
- Core editing team, Pachauri, R. K., & Meyer, L. (2015). *Climate change 2014: Synthesis report*. Geneva: IPCC.
- Dahlberg, A., & Svensson, E. (2013). *Analys av marknaderna för biodrivmedel: Tema fordonsgasmarknaden* (No. ES 2013:08). Stockholm: Energimyndigheten.
- Dahlgren, S., Liljeblad, A., Cerruto, J., Nohlgren, I., & Starberg, K. (2013). *Realiserbar biogaspotential i Sverige år 2030 genom rötning och förgasning*. Stockholm: WSP.
- Elander, M. (2016). *Matavfall i Sverige: Uppkomst och behandling 2014* (No. 8765). Naturvårdsverket.
- Energimyndigheten. (2017a). *Energiindikatorer 2017: Uppföljning av Sveriges energipolitiska mål* (No. ER 2017:9). Eskilstuna: Energimyndigheten.
- Energimyndigheten. (2017b). *Produktion och användning av biogas och rötresten år 2016* (No. ES 2017:07). Stockholm.
- Energimyndigheten. (2017c). *Strategisk plan för omställning av transportsektorn till fossilfrihet* (No. ER 2017:07). Energimyndigheten.
- Förenta Nationerna. (2015). *Transforming our world The 2030 Agenda for sustainable development.pdf* (No. A/RES/70/1). Förenta Nationerna.
- Förenta Nationerna. (2018). *United Nations Treaty Collection*. Hämtad 01 juni 2018, från https://treaties.un.org/Pages/ViewDetails.aspx?src=TREATY&mtsg_no=XXVII-7-d&chapter=27&clang=_en
- Gröna bilister. (2012). *Drivmedelsfakta 2012*. Uppsala.
- Grönvall, A. (2017). *Husdjur i juni 2016: slutlig statistik* (JO - Jordbruk, skogsbruk och fiske No. JO 20 SM 1701). Jordbruksverket.
- Jarvis, Å. (2012). *Biogas ur gödsel, avfall och restprodukter: Goda svenska exempel* (No. 6518). Stockholm: Naturvårdsverket.
- Johansson, M. (2007). *Rätt lastade fordon* (No. SÅ rapport 2007:2). Sveriges Åkeriföretag.
- Krafttringen. (u.å.). *Pris för fordonsgas*. Hämtad 24 maj 2018, från <https://www.krafttringen.se/Privat/Fordonsgas/Fordonsgaspris/>

- Leander, J., Lundin, L., & Rytterstedt, M. (2007). *Scenarier för insamling och behandling av matavfall i Stockholms län*. Västerås: Kommunförbundet Stockholms län.
- Linné, M., Ekstrandh, A., Englesson, R., Persson, E., Björnsson, L., & Lantz, M. (2008). *Den svenska biogaspotentialen från inhemska restprodukter*. Lund.
- Ljungberg, D., Gunnarsson, C., & de Toro, A. (2013). *Optimerad logistik för biogasproduktion* (No. f3 2013:21). Sverige: Svenskt kunskapscentrum för förnybara drivmedel.
- Länsstyrelsen Dalarna. (2013). *Plan för ökad återvinning och resurshållning: Kommunal avfallsplan*. Länsstyrelsen Dalarna.
- MCR. (u.å.-a). *20 fots container*. Hämtad 15 maj 2018, från <http://www.mcr.se/20-fots-container/>
- MCR. (u.å.-b). *40 fots container*. Hämtad 15 maj 2018, från <http://www.mcr.se/40-fots-container1/>
- Network for Transport Measures. (2018). Hämtad 25 maj 2018, från <https://www.transportmeasures.org/sv/>
- Olsson, Y. (2017). *Jordbruksmarkens användning 2017: Slutlig statistik* (JO - Jordbruk, skogsbruk och fiske No. JO 10 SM 1703). Jordbruksverket.
- Påhlman, T. (2017). Matrester från Dalarna blir biogas i Huddinge. *SVT Nyheter*. Hämtad från <https://www.svt.se/nyheter/lokalt/dalarna/dalarnas-matavfall-blir-biogas-i-huddinge>
- SMED. (2016). *Avfall i Sverige 2014* (Rapport 6727). Naturvårdsverket.
- Statistiska centralbyrån. (2011). *Befolkning: Population*. Statistiska centralbyrån. Hämtad från https://www.scb.se/statistik/_publikationer/ov0904_2011a01_br_05_a01br1101.pdf
- Statistiska centralbyrån. (2018a). *Antal hushåll efter region, hushållstyp, boendeform och år*. Statistiska centralbyrån.
- Statistiska centralbyrån. (2018b). *Antal och andel hushåll samt personer efter region och hushållsstorlek*. Statistiska centralbyrån.
- Statistiska centralbyrån. (2018c). *Befolkningsstäthet (invånare per kvadratkilometer) m.m efter region, kön, tabellinnehåll och år*. Statistiska centralbyrån.
- Statistiska centralbyrån. (2018d). *Folkmängd efter region och vart 5:e år*. Statistiska centralbyrån.
- Svenskt Gastekniskt Center AB. (2012). *Basdata om biogas*. Malmö.
- Trafikverket. (2018). *NVDB på webb*. Hämtad 02 juni 2018, från <https://nvdb2012.trafikverket.se/SeTransportnatverket>
- Transportstyrelsen. (2014). *Lasta lagligt: Vikt- och dimensionsbestämmelse för tunga fordon*. Transportstyrelsen.
- Transportstyrelsen. (u.å.). *Ändrade bruttoviktstabeller och krav för 64 ton tunga fordonskombinationer*. Hämtad 30 april 2018, från <https://www.transportstyrelsen.se/sv/Nyhetsarkiv/andrade-bruttoviktstabeller-och-krav-for-64-ton-tunga-fordonskombinationer/>
- Tzivanakis, C. (2012). *Empty Bin City*. Thessaloniki: Aristotle University of Thessaloniki. Hämtad från <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/community/EmptyBin-City>
- Vázquez, J. C. G., & Caparrini, F. S. (2016). *NetLogo: A modeling tool*.
- Vestman, J., Liljemark, S., & Svensson, M. (2014). *Kostnadsbild för produktion och distribution av fordonsgas* (No. 2014:296). Malmö: Svenskt Gastekniskt Center AB.
- Volvo. (u.å.). *Volvo hyrlast*. Hämtad 15 maj 2018, från <https://www.volvotrucks.se/sv-se/services/hyrlast.html>
- Wilensky, U. (1999). *NetLogo*. Evanston: Northwestern University. Hämtad från <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>

Wilensky, U. (2005). *NetLogo Preferential Attachment model*. Evanston: Northwestern University. Hämtad från <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/Preferential-Attachment>

Bilaga 1 – Kod i NetLogo

```
extensions [palette]

undirected-link-breed [hubs hub]
undirected-link-breed [roads road]
undirected-link-breed [streets street]
breed [villages village]
breed [cities city]
breed [bigtrucks bigtruck]
breed [garbagetricks garbagetrick]

; distance between the village and city
roads-own [road-distance]
bigtrucks-own [parent-city speed goal full? val labor-cost
fuel-cost km] ;to know which city the truck belongs to. Goal
is to define the new heading of the truck. Speed is set by a
village-variable
;;that depends on the road quality.
garbagetricks-own [parent-city speed goal full? new-goal
critical-village labor-cost fuel-cost km val]
villages-own [population parent-city target? rural-road?
val-increase val]
cities-own [ population val new-val val-increase val target?
tot-val]

globals [
  total-val ; total quantity in the system
  max-val ; maximum quantity held by a
single node in the system
  cor-val ;coordinate values. How large is
the grid?
  accumulated-waste
  rest
  groc
  kitc
  food
  counter ; counts amount of ticks and
translates in to working hours, might be obsolete with the
time extension.
  siblings
  animal-farm-val
  plant-farm-val
  tot-profit
]

;; each tick is 3 minutes. 20 ticks is one hour --> 20 * 3 =
60 minutes
```

```

;; one work days is 8 * 20 ticks = 160 ticks
;; 1 "step" on the grid is 1 km.
;; truck speed is in km/h.
;; 1 step in "forward" is 4 km on the map.

to setup
  clear-all
  ;;setup the world to be square root of the total area
  ; + "0.3 * cor-val-1" is to make the edges a bit further
  away to allow for a better looking grid.
  let cor-val-1 (( sqrt region-sqkm ) / 2 )
  set cor-val cor-val-1 + (0.3 * cor-val-1)
  resize-world ( - cor-val ) cor-val ( - cor-val ) cor-val

  set-default-shape turtles "circle"
  set-default-shape links "default"

  set tot-profit 0

;; these values are in kg / person / year. Since "1" is a
tonne, the values are divided by 1000 --> tonnes / person /
year
  ;; 0.024 is the household food waste in tonnes / person /
year.
  if restaurants = true [ set rest 0.007 ]
  if grocerystores = true [set groc 0.003 ]
  if kitchens = true [set kitc 0.007]
  if foodindustry = true [set food 0.008 ]
  set accumulated-waste ( 0.024 + rest + groc + kitc + food)

  create-cities num-cities [
    set population random-normal ( city-population / num-
cities ) ( 0.1 * city-population / num-cities )
    ;; pop * 0.025 calculates the yearly food waste produc-
tion (25 kg) of the average Swede.
    ;; divided by 26 calculates the amount of waste accumu-
lated over two weeks.
    ;; two weeks is the interval in which waste gets col-
lected.
    set val population * accumulated-waste / 26
    set tot-val val
    set val-increase val / 14
    set target? false
    set size 5
  ]
  ask turtle 0 [
    create-hubs-with other turtles
    home
    set color blue
    ; 30 km is an assumption of minimum distance between

```

```

cities.
  layout-circle other cities 30
  ask other cities [
    fd (random cor-val * 0.6)
  ]
  hatch-bigtrucks number-of-btrucks [
    set parent-city myself
    set size 4
    set shape "truck"
    set color 135
    set val 0
    set speed 0.35
    set fuel-cost 0
    set labor-cost 0
  ]
]]

ask cities [
  hatch-garbagetrucks garbagetrucks-per-city [
    set parent-city myself
    set shape "truck"
    set size 5
    set color 75
    set val 0
    set speed 0.35
    set fuel-cost 0
    set labor-cost 0
  ]
]]

create-villages num-villages [
  set color red
  set size 3
  set shape "house"
  set population random-normal ( village-population / num-
villages ) ( 0.3 * village-population / num-villages )
  set val ( population * accumulated-waste ) / 26
  set val-increase val / 14
  move-to city random num-cities
  set parent-city min-one-of cities [distance myself]
  create-road-with parent-city

  ;; if the distance from city-village is larger than the
distance from the edge of the map,
  ; have the village turn towards the middle of the map.
  let village-distance ( 6 + ( random ( cor-val * 0.6 )))
  if ( patch-at-heading-and-distance 90 village-distance =
nobody ) [
    set heading 90
    rt 100 + (random 260)
  ]
  if (patch-at-heading-and-distance 270 village-distance
= nobody) [

```

```

        set heading 270
        rt 100 + (random 260)
    ]
    if (patch-at-heading-and-distance 0 village-distance =
nobody) [
        set heading 0
        rt 100 + (random 260)
    ]
    if (patch-at-heading-and-distance 180 village-dis-
tance = nobody) [
        set heading 180
        rt 100 + (random 260)
    ]
    if ( patch-at-heading-and-distance 90 village-distance =
nobody ) and ( patch-at-heading-and-distance 0 village-dis-
tance = nobody ) [
        set heading 0
        rt 180 + (random 270)
    ]
    if (patch-at-heading-and-distance 90 village-distance =
nobody) and ( patch-at-heading-and-distance 180 village-dis-
tance = nobody ) [
        set heading 180
        rt 90 + (random 180)
    ]
    if (patch-at-heading-and-distance 270 village-distance =
nobody) and (patch-at-heading-and-distance 0 village-dis-
tance = nobody) [
        set heading 0
        rt 90 + (random 180)
    ]
    if (patch-at-heading-and-distance 270 village-distance =
nobody) and (patch-at-heading-and-distance 180 village-dis-
tance = nobody) [
        set heading 0
        rt (random 90)
    ]
]

fd village-distance
set target? false
ifelse distance parent-city >= 30 [
    set rural-road? true
]
[
    set rural-road? false
]
]

ask villages [
    set siblings other villages with [parent-city = [parent-
city] of myself ]

```

```

    if distance parent-city <= 20 [
      create-streets-with siblings with [distance parent-
city <= 20 ]
    ]
    set target? false
  ]

  set total-val sum [ val ] of turtles
  ask villages [update-node-appearance]
  ask cities [update-node-appearance]

ask roads [
  set road-distance link-length
]

set counter 0
reset-ticks
end

to go

  ;; 160 ticks is one day, 14 * 160 = 2240 ticks = 2
weeks. This is the interval in which waste is collected in
reality.
  ;; dividing starting val / 14 i.e. "val-increase" gives
the amount of food waste that is accumulated each day.
  ;; ticks mod 160 = 0 makes the waste accumulate once every
8 hours (once a day).
  if ticks mod 160 = 0 [
    ask villages [
      accumulate-v-waste
    ]
    ask cities [
      accumulate-c-waste
    ]
  ]
;-----
ask garbagetrucks[
  check-garbage-weight
]
ask garbagetrucks [
  if goal = 0 [
    identify-critical-village
    show "identifying"
    show ticks
  ]]
ask garbagetrucks [
  move-to-village
]
;-----

```

```

ask bigtrucks [
  if goal = 0 [
    identify-critical-city
  ]
ask bigtrucks [
  ifelse goal != 0 [
    move-to-city
  ]
  [
    if distance parent-city > speed
    [
      face parent-city
      fd speed
    ]
  ]
]
]

;-----
update-globals
update-visuals

if ticks mod 160 = 0 [
  set counter ticks / 160
]

if ticks = 58400 [
  ask cities [
    output-show precision tot-val 3
  ]
  stop
]
tick
end

to accumulate-v-waste
  ;; 160 ticks is one day, 14 * 160 = 2240 ticks = 2 weeks.
  This is the interval in which waste is collected in reality.
  ;; dividing starting val / 14 i.e. "val-increase" gives
  the amount of food waste that is accumulated each day.
  ;; ticks mod 160 = 0 makes the waste accumulate once every
  8 hours (once a day).
  if ticks mod 160 = 0
  [
    set val val + val-increase
  ]
  ; 70 kg (0.070 tonnes) is the max weight allowed for gar-
  bage bins in Sweden.
  ; 140 litre waste bin is assumed
  ; Food waste weighs 0.45 kg/l. 140 * 0.45 = 63 kg = 0.063
  tonnes per bin.

```

```

    ; In general every household holds 2 people.
    ; Val / half of the population = the amount of tonnes that
each garbage bin currently holds
    if val / ( 0.5 * population ) >= 0.030 [
        set label "soon full"
    ]
    if val / ( 0.5 * population ) >= 0.063 [
        set label "full"
    ]
    if val / ( 0.5 * population ) <= 0.030 [
        set label ""
    ]
end

to accumulate-c-waste
    set val val + val-increase
    set tot-val tot-val + val-increase
end

to check-garbage-weight
    ifelse val >= max-garbagetruck-load [
        set full? true
        face parent-city
    ]
    [set full? false]
end

to identify-critical-city
    if any? [hub-neighbors with [not target?]] of parent-city
    [
        let critical-city max-one-of [hub-neighbors with [not tar-
get?]] of parent-city [val]
        if [val] of critical-city > max-btruck-load [
            set goal critical-city
            set km distance goal
            ask goal [
                set target? true
            ]
        ]
    ]
end

to identify-critical-village
    ;; identify which village-around has the most waste

    ifelse (any? villages with [label = "soon full" and road-
neighbor? [parent-city] of myself and target? = false]) or
    (any? villages with [label = "full" and road-neighbor?
[parent-city] of myself]) [
        ifelse any? villages with [label = "full" and road-
neighbor? [parent-city] of myself ] [
            set critical-village one-of villages with [label =
"full" and road-neighbor? [parent-city] of myself]

```

```

        show "full-village"
        show ticks
    ]
    [
        set critical-village one-of villages with [label =
"soon full" and road-neighbor? [parent-city] of myself and
target? = false]
        show "soon-full-village"
        show ticks
    ]
]
[
    set critical-village max-one-of [road-neighbors with [not
target?]] of parent-city [val]
]
;; save the critical village until return to parent-city
ifelse new-goal != 0 and new-goal != nobody [
    if [val] of new-goal > max-garbagetruck-load * 0.1 and
full? = false [
        set goal new-goal
        show "new-goal"
        show ticks
        set km distance goal
        ask goal [
            set target? true
        ] ]
    set new-goal 0
]
[
    if critical-village != 0 and critical-village != nobody
[
        ifelse [label = "soon full" or label = "full"] of
critical-village [
            set goal critical-village
            show "critical-village"
            show ticks
            set km distance goal
            ask goal [
                set target? true
            ]
        ]
    ]
[
    ifelse [val] of critical-village > max-garbagetruck-load
[
        set goal critical-village
        show "critical-village"
        show ticks
        set km distance goal
        ask goal [
            set target? true
        ]
    ]
]
]

```



```

    [
      set goal 0
      set critical-village 0
    ]
  ]
end

to move-to-city
  ifelse distance parent-city < speed [
    ask parent-city [
      set val val + [val] of myself
    ]
    set val 0
    if [val] of goal > 0 [
      face goal
      set km distance goal
      calc-cost-trailertruck
      fd speed
    ]
  ]
  [
    let goal-val [val] of goal
    if distance goal < speed [
      ifelse goal-val >= max-btruck-load [
        ask goal [
          set val ( val - max-btruck-load )
          if val < 0 [
            set val 0
          ]
        ]
      ]
      set val max-btruck-load
    ]
  ]
  [
    set val (val + [val] of goal)
    ask goal [
      set val 0
    ]
    set km distance parent-city
    calc-cost-trailertruck
    face parent-city
    ask goal [
      set target? false
    ]
  ]
  set goal 0
]
fd speed
end

to move-to-village
  ifelse distance parent-city < speed [

```

```

ask parent-city [
  set val val + [val] of myself
  set tot-val val + [val] of myself
]
set val 0
set full? false
;;new-location critical village and set heading to
village
if goal != 0 [
  if [val] of goal > 0 [
    ; 50 km / h . 2.5 km per tick. 1 tick is 3 minutes.
    20 ticks 1 hour. 20 * 2.5 km = 50 km.
    ifelse [ rural-road? = true ] of goal [
      set speed 0.25
    ]
    [
      set speed 0.35
    ]
    face goal
    set km distance goal
    calc-cost
    fd speed
  ]
]]
[
  if goal != 0 [
    ;;if the truck is on the critical-village, collect waste
    ;;otherwise keep moving towards the village
    if distance goal < speed [
      ;;new name for critical-village's val
let goal-val [val] of goal
    ;; have the truck pick up waste
    ifelse goal-val >= max-garbagetruck-load [
      ask goal [
        set val ( val - max-garbagetruck-load )
        set target? false
      ]
      set val max-garbagetruck-load
    ]
    set full? true
  ]
  [
    set val (val + [val] of goal)
    ask goal [
      set val 0
      set target? false
    ]
  ]

  ifelse any? villages with [street-neighbor? [goal] of
myself and target? = false] [
    let newnew-goal 0
      ask goal [
        set newnew-goal min-one-of (street-neighbors with

```

```

[target? = false]) [distance myself]
]
set new-goal newnew-goal
ifelse [val] of new-goal > max-garbagetruck-load *
0.1 and full? = false [
face new-goal
set km distance new-goal
calc-cost
set goal 0
set critical-village 0
]
[
set new-goal 0
face parent-city
set km distance parent-city
calc-cost
set goal 0
set critical-village 0
]
]
[
face parent-city
set km distance parent-city
calc-cost
set goal 0
set critical-village 0
]
]]

fd speed
]
end

```

```

to calc-cost
;;Från word-dokumentet och "transportat measures" hemsida.
0.124 l / km i genomsnitt.
; cost based on working hours AND km travelled. Current
diesel cost was 15.44 kr / l (circle k).
; Just assuming 1 work hours costs 200 kr for the em-
ployer. 200 / 60 = 3.333 kr per minutes
; 1 tick is 3 minutes ==> 3 * 3.333 = 9.999 = 10 kr / tick
; ( km / speed ) gives the amount of ticks the travel will
take.
set fuel-cost ( fuel-cost + ( 0.124 * km * fuel-price) )

let tick-labor-cost hourly-labor-cost / 60 * 3
set labor-cost ( labor-cost + ( tick-labor-cost * ( km /
speed ) ) )
end

```

```

to calc-cost-trailertruck
  ;;Från word-dokumentet och "transportat measures" hemsida.
  0.501 l / km i genomsnitt.
  ; cost based on working hours AND km travelled. Current
  diesel cost was 15.44 kr / l (circle k).
  ; Just assuming 1 work hours costs 200 kr for the em-
  ployer. 200 / 60 = 3.333 kr per minutes
  ; 1 tick is 3 minutes ==> 3 * 3.333 = 9.999 = 10 kr / tick
  ; ( km / speed ) gives the amount of ticks the travel will
  take.
  set fuel-cost ( fuel-cost + ( 0.501 * km * fuel-price) )

  let tick-labor-cost hourly-labor-cost / 60 * 3
  set labor-cost ( labor-cost + ( tick-labor-cost * ( km /
  speed ) ) )
end

to-report kr/kwh-transport
  let g-trucks sum [fuel-cost + labor-cost] of garbagetrucks
  let b-trucks sum [fuel-cost + labor-cost] of bigtrucks
  let truck-cost b-trucks + g-trucks
  report truck-cost / kwh-food-waste-city0
end

to-report price-cost-difference
  ;from excel file "substratberäkningar"
  let market-price 1.04 + 1.31
  let production-cost kr/kwh-transport + 0.73
  report market-price - production-cost
end

to-report kwh-food-waste-cities
  ;; these values are in kg / person / year. Since "1" is a
  tonne, the values are divided by 1000 --> tonnes / person /
  year
  ;; 0.024 is the household food waste in tonnes / person /
  year.
  ifelse restaurants = true and grocerystores = true and
  kitchens = true and foodindustry = true [
    let kwh-per-ton 1222.54
    let kwh kwh-per-ton * sum [val] of cities
    report kwh
  ]
  [
    ifelse restaurants = true and kitchens = true and gro-
    cerystores = true and foodindustry = false [
      let kwh-per-ton 1207.07
      let kwh kwh-per-ton * sum [val] of cities
      report kwh
    ]
  ]

```

```

    let kwh-per-ton 1241.11
    let kwh kwh-per-ton * sum [val] of cities
    report kwh
  ] ]
end

to-report kwh-food-waste-city0
  ;; these values are in kg / person / year. Since "1" is a
  tonne, the values are divided by 1000 --> tonnes / person /
  year
  ;; 0.024 is the household food waste in tonnes / person /
  year.
  ifelse restaurants = true and grocerystores = true and
  kitchens = true and foodindustry = true [
    let kwh-per-ton 1222.54
    let kwh kwh-per-ton * [val] of city 0
    report kwh
  ]
  [
    ifelse restaurants = true and kitchens = true and gro-
    cerystores = true and foodindustry = false [
      let kwh-per-ton 1207.07
      let kwh kwh-per-ton * [val] of city 0
      report kwh
    ]
    [
      let kwh-per-ton 1241.11
      let kwh kwh-per-ton * [val] of city 0
      report kwh
    ]
  ] ]
end

to-report farm-mwh-year
  let kwh-farms ( list
2383.57 ;milk-cows 0
809.74 ;other-cows 1
574.10 ;calfs 2
1045.69 ;bulls, heifers, steers 3
982.41 ;sows 4
384.09 ;swines 5
10.13 ;poultry 6
8340.28 ;sugarbeet-haulm 7
641.34 ;unfit potatoes 8
8600.91 ;ley 9
7074.34 ;pea pods 10
100      ;straw 11
)
  let kwh-sum ( list
( milk-cows * item 0 kwh-farms )
( other-cows * item 1 kwh-farms)
( calfs * item 2 kwh-farms)
( bulls-heifers-steers * item 3 kwh-farms )

```

```

(  sows * item 4 kwh-farms )
  (swines * item 5 kwh-farms)
(  poultry * item 6 kwh-farms)
  (sugarbeet-haulm * item 7 kwh-farms)
  (unfit-potatoes * item 8 kwh-farms)
; (ley * item 9 kwh-farms)
; (pea-pods * item 10 kwh-farms)
;(  straw * item 11 kwh-farms)
  )

  let yearly-total sum kwh-sum
  report yearly-total / 1000
end

to-report animal-mwh-year
  let kwh-farms ( list
2383.57 ;milk-cows 0
809.74 ;other-cows 1
574.10 ;calfs 2
1045.69 ;bulls, heifers, steers 3
982.41 ;sows 4
384.09 ;swines 5
10.13 ;poultry 6
  )
  let kwh-sum ( list
  ( milk-cows * item 0 kwh-farms )
  ( other-cows * item 1 kwh-farms)
  (calfs * item 2 kwh-farms)
  (bulls-heifers-steers * item 3 kwh-farms )
  (  sows * item 4 kwh-farms )
  (swines * item 5 kwh-farms)
  (  poultry * item 6 kwh-farms)
  )
  report sum kwh-sum / 1000
end

to-report animal-farm-tonnes
  let yearly-tonnes-list ( list
16.25
3.37
2.37
4.21
4.709625
2.3845
  0.0318
  )
  let yearly-tonnes (list
  ( milk-cows * item 0 yearly-tonnes-list )
  ( other-cows * item 1 yearly-tonnes-list )
  (calfs * item 2 yearly-tonnes-list)
  (bulls-heifers-steers * item 3 yearly-tonnes-list)
  (  sows * item 4 yearly-tonnes-list )
  )

```

```

        (swines * item 5 yearly-tonnes-list)
        ( poultry * item 6 yearly-tonnes-list)
    )
report sum yearly-tonnes
end

to-report plant-mwh-year
    let kwh-farms ( list
        8340.28 ;sugarbeet-haulm 7
        641.34 ;unfit potatoes 8
        8600.91 ;ley 9
        7074.34 ;pea pods 10
        100      ;straw 11
    )
    let yearly-kwh (list
        (sugarbeet-haulm * item 0 kwh-farms)
        (unfit-potatoes * item 1 kwh-farms)
        ; (ley * item 2 kwh-farms)
        ; (pea-pods * item 3 kwh-farms)
        ;( straw * item 4 kwh-farms)
    )
    report sum yearly-kwh / 1000
end

to-report plant-farm-tonnes
    let ton-per-year ( list
        ;tonnes wet weight per hectare according to "substrat-
        beräkningar.excel"
        17.64705882
        1.30
        7.954545455
        4.310344828
        0
    )
    let yearly-tonnes ( list
        (sugarbeet-haulm * item 0 ton-per-year)
        (unfit-potatoes * item 1 ton-per-year)
        ; (ley * item 2 ton-per-year)
        ; (pea-pods * item 3 ton-per-year)
        ;( straw * item 4 ton-per-year)
    )
    report sum yearly-tonnes
end

to update-globals
    set total-val sum [ val ] of turtles
    set max-val max [ val ] of turtles
end

```

```

to update-visuals
  ask villages [ update-node-appearance ]
  ask cities [ update-node-appearance ]
end

to update-node-appearance
  ; node procedure
  ;
  ; use color
  ask cities [
    set color palette:scale-scheme "Sequential" "PuBu" 9
    val 0 ( ( (city-population * accumulated-waste ) / 26 ) /
    num-cities )

    ]
  ask villages [
    set color palette:scale-scheme "Sequential" "YlOrRd"
    6 val 0 ( ( (village-population * accumulated-waste ) / 4 )
    / num-villages )
  ]
end

```


Bilaga 2 - Beräkningar

Tabell 2.1. Beräkningar för potentiell fordonsgasproduktion ifrån avfall från livsmedelsindustrin. VV står för våtvikt.

Fordonsgaspotential livsmedelsindustri		Fördelat 8 ton på de olika kategorierna, sedan beräknat kWh per ton avfall.			
Total med begränsning	GWh / år	kton VV / år m. begränsning	% av totala avfallet	kg avfallstyp per 8 ton	GWh / kton VV
Slakteri	86	94	30,1%	2405,6	0,91
Förpackat livsmedel	90	47,8	31,5%	2517,5	1,88
Övrig livsmedelsindustri och annan industri	110	97	38,5%	3076,9	1,13
SUMMA:	286			8000,0	MWh / ton VV livsmedelsindustriavfall
					1,30

Tabell 2.2. Beräkningar för gödselmängder per gödseltyp och djurtyp per djur och år. VV står för våtvikt. TS står för torrs substans.

Utan begränsningar				Med begränsningar			Andel gödseltyp för riket			
Ton gödsel / djur och år	Flytgödsel	Fastgödsel	Djupströ	Flytgödsel	Fastgödsel	Djupströ	Flytgödsel	Fastgödsel	Djupströ	
Mjölkkor	26,3	10,7	15	19,725	8,025	11,25	70%	29%	1%	
Övriga kor	12,2	5,9	6	5,49	2,655	2,7	25%	57%	18%	
Kalvar < 1 år	6	2,7	3,4	3,9	1,755	2,21	25%	57%	18%	
Kvigor, stutar och tjurar > 1 år	10,3	5,9	6	6,18	3,54	3,6	25%	57%	18%	
Suggor	7,8	2,25	4,35	7,41	2,1375	4,133	45%	45%	10%	
Slaktsvin	2,6	0,8	n/a	2,47	0,76		95%	5%	0%	
	Antal totalt	Ton TS /år totalt	Ton TS / djur & år	Ton VV / djur & år	Med begränsning					
Fjäderfä	13834000	99000	0,007156282	0,0318	0,0302154					

Tabell 163. Beräkningar för gödselmängder per gödseltyp och djurtyp per djur och år.

Genomsnittlig ton gödsel/djur & år				
	Flytgödsel	Fastgödsel	Djupströ	Totalt
Mjölkkor	13,81	2,33	0,11	16,25
Övriga kor	1,37	1,51	0,49	3,37
Kalvar	0,98	1,00	0,40	2,37
Kvigor, stutar och tjurar	1,55	2,02	0,65	4,21
Suggor	3,3345	0,961875	0,413	4,709625
Slaktsvin	2,3465	0,038	0	2,3845

Tabell 2.4. Tillgänglig mängd bortsorterad matpotatis per hektar och vad det motsvarar i potentiell fordonsgasproduktion.

SKÖRDEMÄNGDER PER HEKTAR	Tillgänglig mängd våtvikt (ton)	kWh/ha
Bortsorterad matpotatis		
Område 4-7	1,304908	641,337
Område 8	0,887253	436,0673

Tabell 2.5. Beräkningar för potentiell mängd fordonsgas från respektive källa för matavfall. vv står för våtvikt.

	kWh / ton VV	kWh / ton tot. avfall	kWh / kg VV	kg / person & år	kWh / person & år	% per kategori
Hushåll	1241,11	1241,11	1,24	25	31,03	50%
Restauranger	1241,11	1241,11	1,24	7	8,69	14%
Storkök	1241,11	1241,11	1,24	7	8,69	14%
Livsmedelsbutiker	764,53	1207,07	0,76	3	2,29	6%
Livsmedelsindustri	1303,77	1222,54	1,30	8	10,43	16%

Substrat	Nm3 CH4 / ton TS	TS-halt	Mängd gödsel som kan samlas in	Våtvikt (ton)	Torrsvikt (ton)	Nm3 CH4 i 1 ton våtvikt	kWh/ton våtvikt	kWh/kg våtvikt	kWh / djur och år
Flytgödsel från nöt	150	8%	75% mjölk-kor	1	0,08	12	119,15	0,12	2383,57
Fastgödsel från nöt	150	20%	65% kalvar	1	0,2	30	297,87	0,30	809,74
Djupströ från nöt	135	30%	45% övriga kor	1	0,3	40,5	402,12	0,40	574,10
Flytgödsel från slaktsvin	200	8%	60% stutar, kvigor	1	0,08	16	158,86	0,16	1045,69
Flytgödsel från suggor	200	8%		1	0,08	16	158,86	0,16	
Fastgödsel från svin	150	20%		1	0,2	30	297,87	0,30	982,41
Djupströ från svin	135	30%		1	0,3	40,5	402,12	0,40	384,09
Gödsel från fjäderfän	150	22,50%		1	0,225	33,75	335,10	0,34	10,13
			tillgänglig mängd						kwh / ha
Bortsorterad potatis	330	15%	50%	1	0,15	49,5	491,48	0,49	641,34
Matavfall hushåll & restauranger (och storkök)	125	32,50%		1	n/a	125	1241,11	1,24	
Matavfall butiker	77	32,50%		1	n/a	77	764,53	0,76	
Matavfall livsmedels-industri							1303,77	1,30	

Tabell 2.6. Beräkningar för fordonsgasproduktion för vardera källa till substrat i kWh/djur och år eller kWh/hektar och år. Matavfall anges i kWh/ton våtvikt.

Sveriges Lantbruksuniversitet
Institutionen för energi och teknik
Box 7032
750 07 UPPSALA
<http://www.slu.se/institutioner/energi-teknik/>

Swedish University of Agricultural Sciences
Department of Energy and Technology
P. O. Box 7032
SE-750 07 UPPSALA
SWEDEN
www.slu.se/en/departments/energy-technology/