

Småskalig biogasanläggning

Lönsamhet och incitament till investering



Av

Frida Isaksson, firisa-2@student.ltu.se
Josefine Johansson, josjok-2@student.ltu.se

Institutionen för teknikvetenskap och matematik

2017-01-11

Förord

Denna rapport har skrivits som en del av examinationen i kursen F7013T - Energiteknik huvudkurs, vid Luleå Tekniska Universitet. Arbetet har utförts under höstterminen 2016 och omfattar 15 Hp. Kursen syftar i att träna studenterna i verkliga energitekniska problem som de skulle kunna stöta på i det senare arbetslivet som civilingenjörer inom energiteknik.

Ett stort tack till de inblandade som gjort detta arbete möjligt:

Mikael Risberg, Luleå Tekniska Universitet

Andreas Johansson, Energikontor Norr

Johan Liljebäck, StoraMu AB

Herbert & Anna-Britta Nyman, Frigiva Gård AB

Mats Gustafsson, MMG Konsult AB

Luleå, januari 2016

Frida Isaksson och Josefine Johansson

Sammanfattning

Intresset för gårdsbaserade biogasanläggningar är idag växande, man vill ta vara på den oanvända energi som ofta finns på lantbruk och gå mot att vara mer självförsörjande genom att producera kraftvärme av gasen och kunna använda rötresten istället för konstgödsel. Osäkerheten kring lönsamheten för denna typ av anläggning är dock stor, vilket har medfört att lantbrukare inte vågat satsa på detta än. Med ökat intresse för förnyelsebara energikällor från samhällets sida och med ökande energipriser kommer lönsamheten öka och det kommer löna sig att satsa på biogasanläggningar.

Detta projekt är på uppdrag av en mjölkbonde i Överkalix som är intresserad av att veta om det skulle vara lönsamt att investera i en biogasanläggning. Han har idag 80 kor, vilket också innebär 80 ungdjur, men tänker utöka beståndet till 200 kor. Han är även intresserad av att veta om det är möjligt att ta in annat avfall för samrötning med gårdens egna gödsel. Syftet är således att undersöka möjligheterna att bygga upp denna typ av anläggning; hur mycket energi som finns att tillgå, användningsområden och om det är ekonomiskt lönsamt att investera. Det huvudsakliga målet är att genomföra en teknoekonomisk analys som kan svara på om investeringen är lönsam.

Biogasen produceras genom rötning av organiskt material i en syrefri miljö. Mikroorganismerna som bryter ner materialet genererar ingen egen värme och därför måste röt-kammaren hållas varm för att rötprocessen ska fortgå. Av denna anledning kommer omkring en tredjedel av energin i den producerade gasen att behövas till processen. I projektet har möjligheterna till värmeväxling av utgående och ingående substrat undersökts, vilket har resulterat i att en mindre andel energi från gasen kommer att krävas i processen. Detta medför att mer el kan tillverkas och anläggningen får högre lönsamhet. Något som också påverkar lönsamheten är att rötresten som fås efter rötning har bättre egenskaper för att användas till gödsling av åkrar, vilket innebär minskad användning av, och minskade kostnader för, konstgödsel.

Vid rötning av avfall från annan industri måste detta renas genom så kallad hygienisering, då detta kräver värme kommer det totala värmebehovet för hela processen att öka, samtidigt som det finns mer värme att ta till vara på genom värmeväxling. Att ta in annat avfall har flera fördelar; gasutbytet ökar, vilket gör att produktionen av kraftvärme kan ökas och därmed ökar även intäkterna och avfallet som inte kommer från gården tas om hand lokalt istället för att skickas till Boden. Samtidigt finns det flera nackdelar; investeringskostnaderna ökar på grund av att hygieniseringen behöver en egen anläggning, vilket gör att återbetalningstiden blir längre, arbetstiden som måste läggas på anläggningen ökar och rötresten blir problematisk att använda som biogödsel då en karens krävs vid spridning efter samrötning.

På grund av de många nackdelarna med att hygienisera, och med ekonomiska resultat som talar emot en investering, har en rekommendation om att investera i en anläggning utan hygienisering gjorts. Med planerna på att utöka djurbeståndet och med bättre lönsamhet i en större anläggning, blev slutsatsen att en anläggning för 200 kor är en mer hållbar investering.

Abstract

The interest of biogas plants is growing. You want to take advantage of the unused energy that often is found in agriculture and with help of that move towards being more self-sufficient by producing heat and power using biogas, and to use the digestate instead of artificial fertilizers. The great uncertainty about the economic viability of this type of plant has so far made farmers doubtful to invest in it, but if society's interest in renewable energy gets higher and if the price of energy increases, the profitability will also increase and hence it will be worth investing in biogas plants.

This project is commissioned by a dairy farmer in Överkalix, Sweden, who is interested in understanding if it would be profitable to invest in a biogas plant. He has 80 cows, which also means 80 calves, but planning to expand his population to 200 cows. He is also interested to know if it is possible to bring in waste for co-digestion with the farm's own manure. The aim is to investigate the possibilities of building this type of plant; how much energy is available, how the gas can be used and if it is economically sustainable to invest. The main goal is to do a techno-economic analysis that can predict if the investment is profitable.

The biogas is produced by digestion of organic material in an oxygen-free environment. The microorganisms which break down the material does not generate its own heat and therefore the digester must be kept warm to continue the process. For this reason, about a third of the energy from the produced gas is needed in the digesting process. In the project, the potential of heat exchanging the outgoing and incoming substrates has been investigated, which results in a lower share of energy from the gas will be required in the process. This means that more electricity can be produced and the plant will be more profitable. Something that also affects the profitability is that the residues obtained after digestion has improved properties for use in fertilization of fields, which means reduced use of, and reduced costs for, artificial fertilizers.

During digestion of waste from other industries the waste must be purified by so-called sanitisation, as this requires heat the total heating requirement for the process increases, but in the same time there are more heat to take advantage of through heat exchange. Bringing in other waste has both advantages and disadvantages; the gas exchange increases which increase the production of electricity and heat, the waste which is not coming from the farm is taken care of locally instead of sending it to Boden, Sweden, and since the production of heat and power can be increased the revenue increases. At the same time the investment costs increase, since sanitation needs its own facility, which means that the payback time will be longer. The working time on the plant will also increase and the digestate becomes problematic to use as bio-fertilizer since a withdrawal period is required when spreading co-digestive manure.

Because of the many drawbacks with sanitizing and financial results indicating a poor investment, the recommendation is to invest in a plant without sanitation. With plans to expand the animal population, and better profitability in a larger facility, the conclusion is that a plant designed for 200 cows is a more sustainable investment.

Innehållsförteckning

1. Inledning	1
1.1. Syfte och mål	1
1.2. Avgränsningar	1
2. Teori	2
2.1. Rötning	2
2.1.1. Egen gödsel	2
2.1.2. Samrötning	2
2.1.3. Uppbyggnad röt-kammare.....	3
2.1.4. Uppehållstid och organiskbelastning.....	3
2.2. Biogas	3
2.2.1. Gasutbyte.....	4
2.2.2. Elproduktion.....	4
2.2.3. Värmeproduktion.....	5
2.2.4. Fordonsgas.....	5
2.3. Ekonomi.....	5
3. Metod	6
3.1. Uppehållstid och organisk belastning.....	6
3.2. Röt-kammare.....	6
3.3. Gasutbyte	7
3.4. Värmebehov och värmeförluster	8
3.4.1. Ingående substrat	8
3.4.2. Under mark	9
3.4.3. Ovan mark.....	10
3.4.4. Hygienisering	11
3.5. Ekonomi.....	12
4. Resultat	14
4.1. Uppehållstid och organisk belastning.....	14
4.2. Röt-kammare.....	14
4.3. Gasutbyte	14
4.3.1. Rötning av nötflytgödsel.....	14
4.3.2. Samrötning	15
4.4. Värmebehov och värmeförluster	16
4.4.1. Rötning av nötflytgödsel.....	16

4.4.2. Samrötning	20
4.5. Ekonomi.....	22
4.5.1. Rötning av nötflytgödsel.....	22
4.5.2. Samrötning	23
5. Diskussion och slutsatser	24
5.1. Rekommendation.....	25
5.2. Fortsatt arbete	26
6. Referenser	27
Bilaga 1	1

Beteckningar

<i>h</i>	Värmeövergångskoefficient ($W/m^2, K$)
<i>k</i>	Värmeledningsförmåga ($W/m, K$)
<i>TS</i>	Torrsubstans (%)
<i>VS</i>	Glödförlust (%)
<i>VV</i>	Våtvikt (%)
<i>F</i>	Flöde av substrat ($m^3/dygn$)
<i>K</i>	Koncentration ($kg TS/m^3$)
<i>V</i>	Volym (m^3)
<i>L</i>	Längd (m)
<i>r</i>	Radie (m)
<i>T</i>	Temperatur ($^{\circ}C$)
ρ	Densitet (kg/m^3)
<i>P</i>	Uppvärmningsbehov (W)
\dot{m}	Massflöde (kg/s)
<i>C_p</i>	Specifik värmekapacitet (kJ/kg, K)
<i>q</i>	Värme (W)
<i>R</i>	Resistans (K/W)
<i>a</i>	Årlig faktor (-)
<i>n</i>	Ekonomisk livslängd (år)
<i>i</i>	Realränta (%)
<i>PBT</i>	Återbetalningstid (år)
<i>CAPEX</i>	Anläggningskostnader (kr)
<i>R</i>	Omsättning (kr)
<i>OPEX</i>	Löpande kostnader (kr)
<i>C</i>	Kostnader (kr)
<i>ELT</i>	Ekonomisk livslängd (år)
<i>NPV</i>	Nuvärde (kr)
<i>IRR</i>	Internränta (%)

1. Inledning

Mjölkbonden Johan och hans jordbruksföretag StoraMu AB har idag cirka 80 mjölkkor och 80 ungdjur. Dessa djur producerar omkring 4 000 m³ nötflytgödsel varje år. Han har även funderingar på att utöka sitt bestånd till 200 kor och 200 ungdjur, detta skulle ge honom omkring 10 000 m³ gödsel. I denna gödsel finns mycket energi som idag inte används, och därför är bonden intresserad av att veta vad han skulle kunna använda den till. Projektet syftar därför till att undersöka om man skulle kunna röta denna gödsel och därmed producera biogas. Den huvudsakliga idén är att använda gasen till kraftvärme, det vill säga produktion av el och värme. Det finns även annat avfall i närheten av gården, bestående av rester från hundmatstillverkning och från ett bageri, som skulle kunna rötas tillsammans med gödseln i en samrötningsprocess.

För att få en bättre uppfattning om hur en gårdsbaserad biogasanläggning fungerar har litteraturstudier utförts och dessutom har ett studiebesök på Frigiva gård i Altersbruk genomförts.

1.1. Syfte och mål

Syftet med projektet är att undersöka framställningen av biogas från olika substrat, gasens användningsområden och hur lönsamheten för en gårdsbiogasanläggning förändras beroende på hur mycket gödsel som rötas och om samrötning tillämpas. Målet är att genom en teknoekonomisk analys undersöka om det idag är ekonomiskt hållbart att investera i en småskalig biogasanläggning.

1.2. Avgränsningar

Detta projekt kommer undersöka biogasprocessen, hur gasen kan användas och de ekonomiska drivkrafterna för att investera i en småskalig biogasanläggning, hur det sedan praktiskt kommer utföras med placering av anläggningen på gården kommer inte att studeras.

2. Teori

I denna del presenteras den teori som är av vikt för att förstå problemet och de lösningar som sedan följer.

2.1. Rötning

Rötning är en naturligt förekommande process i till exempel komagor och sumpmarker. Mikroorganismer bryter ner organiskt material i en syrefri miljö och genom detta bildas metangas och koldioxid. (Christensson, o.a., 2009) Rötningen kan delas in i tre olika steg - hydrolys, fermentation och metanbildning. I hydrolysstegets sönderdelas föreningarna i substratet, det vill säga avfallet, till enklare föreningar och i fermentationssteget sker en jäsning som bildar bland annat fettsyror, alkoholer och vätgas. Metanbildningen i det sista steget sker med hjälp av mikroorganismer som växer till under en lång period och som är väldigt känsliga för kontakt med syre och förändringar i den omgivande miljön. (Biogasportalen, 2015)

Rötning för produktion av biogas sker i en sluten rötchammare där mikroorganismerna får växa till i en mesofil (37 °C) eller termofil (55 °C) miljö. Antingen kan alla tre stegen i rötningen genomföras i samma chammare eller i två olika chammare. När två chammare används sker hydrolysen och fermentationen i den första och sedan pumpas substratet vidare till nästa chammare där den huvudsakliga metanbildningen sker. (Biogasportalen, 2015)

Mängden gas som bildas beror på uppehållstiden i chammaren. Normal uppehållstid är mellan 20 och 50 dygn och beror på hur svårt det är för mikroorganismerna att bryta ner materialet. Utifrån den uppehållstid som önskas måste den organiska belastningen kontrolleras, detta för att säkerställa att mikroorganismerna kommer klara av att bryta ner allt substrat. Uppehållstiden är även viktig ur ett miljöperspektiv då en för kort uppehållstid medför att icke nedbrutet substrat lämnar rötchammaren och fortsätter rötprocessen i slutlagringen, vilket medför ett metanläckage till omgivningen, om inte slutlagringen är täckt. (Christensson, o.a., 2009)

2.1.1. *Egen gödsel*

Vid rötning av nötflytgödsel från egen gård och där biogödsel sedan ska användas på egna marker kan rötning ske direkt utan förbehandling. (Avfall Sverige, 2016) Gödseln från ladugården samlas ihop i en blandningsbrunn varifrån den sedan pumpas eller bräddas in i rötchammaren. Rötchammaren är totalomblandad för att få en jämn temperatur i hela substratet och för att minska risken för sedimentering och svämtäcke. Vid rötning av gödsel används så kallad semikontinuerlig rötning, vilket innebär att nytt substrat tillförs satsvis några gånger per dygn. När nytt substrat tillförs bräddas samma mängd ut från rötchammaren, och vidare till slutlagringen. Innan rötresten kommer till slutlagringen måste den ha kylts ner ordentligt för att avstanna metanproduktionen. (Christensson, o.a., 2009)

2.1.2. *Samrötning*

Samrötning innebär att olika substrat rötas tillsammans, ofta består blandningen av en större andel av ett substrat och mindre delar av en eller flera andra substrat. Vid rötning av andra substrat än egen gödsel krävs förbehandling av olika slag, bland annat hygienisering. Hygieniseringen sker i en separat chammare där substratet ska hålla en temperatur på 70 °C i en timme. Partiklarna får maximalt vara 12 mm vilket gör att de flesta material måste sönderdelas innan hygieniseringen. Beroende på vattenmängden i substratet kan vatten tillföras eller tas bort

innan hygieniseringen. Detta för att materialet å ena sidan ska kunna pumpas men å andra sidan ska det inte ta upp för stor volym. (Christensson, o.a., 2009) Samrötning av olika substrat ökar ofta gasutbytet då man uppnår en bättre sammansättning för mikroorganismerna. (Carlsson & Uldal, 2009)

I detta fall skulle en samröttningsprocess innebära att större delen av det totala substratet fortfarande består av gödsel men att små mängder bageriavfall och restprodukter från hundmatstillverkning (slaktavfall och fiskrens) också rötas.

Vid spridning av rötresterna från samrötning av avfall som inte kommer från gården måste det finnas en 6 veckor lång karenstid innan djuren får beta på marken eller den får skördas. (Jordbruksverket, 2016)

2.1.3. Uppbyggnad rötchammare

Rötchammaren består ofta av betong eller stål med utanpåliggande eller ingjutna varmvattenrör och cirka 20 cm utvändig isolering. Om chammaren är konstruerad i betong måste den del av rötchammaren som innehåller gas ytbehandlas på insidan, detta för att betongen inte ska förstöras av gasen. (Christensson, o.a., 2009) I detta fall har en betongchammare studerats och i tabellen nedan presenteras variablerna för chammaren.

Tabell 1 Variabler för materialen i rötchammaren. (Incropera, Dewitt, Bergman, & Lavine, 2013)* (Jernkontoret, 2016)**

h_{substrat} ** [W/m ² , K]	h_{gas} (antagen) [W/m ² , K]	h_{luft} ** [W/m ² K]	$k_{\text{isolering}}$ * [W/m, K]	k_{betong} * [W/m, K]
500	10	5	0,037	1,4

2.1.4. Uppehållstid och organiskbelastning

Den tid som substratet är i rötchammaren kallas för uppehållstid. Ju längre uppehållstid desto mer gas kan man få ut, till en viss gräns. Om uppehållstiden ska vara lång krävs även en stor rötchammare då flödet av gödsel är konstant. Därför väljs en uppehållstid som ger en rimlig storlek på chammaren. (Carlsson & Uldal, 2009) Organisk belastning anger hur mycket av det organiska materialet processen klarar av att bryta ner. Den organiska belastningen ligger ofta kring 1 - 4 kg TS per m³ och dygn. (Christensson, o.a., 2009)

2.2. Biogas

Biogas kallas den gas som bildas vid rötning av organiskt material. Biogasen är en blandning av metan och koldioxid, där metanet är den energibärande komponenten. Metanhalten ligger ofta mellan 55 och 80 %, beroende på substrat och uppehållstid. När gasen är varm är den ofta mättad med vattenånga som sedan kondenserar ut när gasen kyls. Gasen kan även innehålla svavelföreningar, beroende på vilket substrat som rötas, och därför måste den renas innan den kan användas. Graden av rening beror på användningsområde, där fordonsgas kräver mer rening än då gasen ska brännas i en gasbrännare. (Christensson, o.a., 2009)

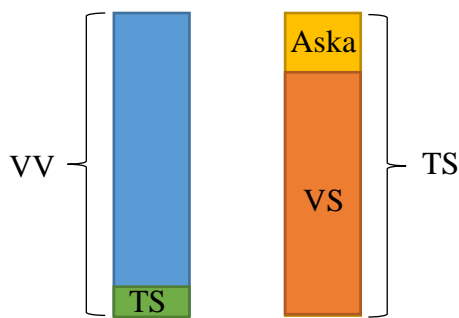
Ett sätt att minska svavelhalten i gasen är att tillsätta en liten mängd luft i den del av rötchammaren som innehåller gas. Detta gör att bakterier som finns i det organiska materialet kan fälla ut svavlet med hjälp av syret i luften och genom att svavlet fälls ut på väggarna hamnar det i rötresten istället för i gasen. Man får dock inte tillsätta för mycket luft då en blandning av luft och biogas kan antändas vid vissa förhållanden. Ett annat sätt att rena gasen från svavel är

med hjälp av järn, antingen genom att leda gasen genom ett filter med järnoxid eller genom att tillsätta järnjoner i substratet. Gasen kan även renas effektivt med aktivt kol. (Christensson, o.a., 2009)

Om producenten ingår i projektet för gödselgas hos Jordbruksverket finns det möjlighet att ansöka om ett gödselgasstöd. Stödet beräknas på hur mycket gödsel som anläggningen tar emot och hur mycket gas som produceras. Om man samröter med annat avfall får man endast stöd på den teoretiska mängden gas som kommer från gårdsgödseln. Man har möjlighet att maximalt få 40 öre/kWh producerad biogas. Gödselgasstödet är ett projekt som startade år 2014 och avslutas 2023. (Jordbruksverket, 2016)

2.2.1. Gasutbyte

Gasutbytet är beroende av några av substratets parametrar. Parametrar så som torrsbstanshalt (TS) och glödförlusthalt (Volatile Solids, VS). Torrsbstanshalten anger kvarvarande föreningar i materialet efter vatteninnehållet indunstats vid 105 °C. Glödförlusten anger halten organiskt material i substratet, dvs. det innehållet av förbränningsbar substans vid 550 °C. (Carlsson & Uldal, 2009) I Figur 1 nedan kan ett förtydligande på dessa halter ses. TS är en del av våtvikten (VV) och VS-halten är en del av TS-halten.



Figur 1 Fördelning av TS- och VS-halten i substratet. Där VV är våtvikten, TS är torrsbstanshalten och VS är glödförlusthalten.

I Tabell 2 kan parametrarna för att beräkna gasutbytet av nötflytgödsel, bageriavfall och rester från hundmatstillverkning ses.

Tabell 2 Parametrar på olika substrat. (Carlsson & Uldal, 2009)* (Christensson, o.a., 2009)**

Substrat	TS* (%)	VS* (%)	Metanutbyte* (Nm ³ CH ₄ /ton VS)	Biogasutbyte* (Nm ³ biogas/ton VV)	Värmevärde metan** (kWh/Nm ³)
Nötflytgödsel	9	80	213	22	9,97
Bageriavfall (deg)	67	90	290	280	9,97
Hundmat (fiskrens)	42	98	930	537	9,97

2.2.2. Elproduktion

Gasen kan användas för att producera el, antingen med en gasturbin, gasmotor eller värmemotor. I de fall då gasen bränns för elproduktion, det vill säga i gasturbinen och

gasmotorn, måste gasen renas från svavel för att inte skada utrustningen och för att det inte ska bildas svaveldioxid vid förbränningen. (Christensson, o.a., 2009)

Elen kan sedan användas internt på gården eller levereras ut på elnätet. Eftersom elen kommer från en förnyelsebar källa har producenten rätt till gröna elcertifikat, vilket ökar inkomsterna på elen. (Energimyndigheten, 2016)

En motor eller gasturbin har relativt låga verkningsgrader om de bara tillverkar el. Om de däremot vattenmantlas kan överskottsvärmen tas tillvara på genom värmeväxling och därmed ökar verkningsgraden i systemet. (Bioenergiportalen, 2010) Avgaserna från motorn kan tas till vara på genom att leda in dem i ett växthus och på så vis gödsla med koldioxiden som finns i avgaserna. På detta vis tar man även reda på den värme som är kvar i avgaserna efter värmeväxlingen. (Svenskt Gastekniskt Center AB, 2000)

2.2.3. Värmeproduktion

Förutom värmen som kan fås från motorn eller turbinen kan gasen även brännas direkt i en gasbrännare. Detta ger bara värme i form av varmvatten som kan användas för uppvärmning av byggnader eller tappvatten. Denna värme kan ersätta den som kommer från flispannan idag och därmed spara in den kostnaden.

2.2.4. Fordonsgas

Biogasen kan även uppgraderas till ett högre metaninnehåll för att sedan användas som fordonsbränsle. Detta kräver en uppgraderingsanläggning, alternativt att rågasen transporteras till en annan anläggning för uppgradering. I detta fall kommer inte uppgradering undersökas närmare då beställaren är mer intresserad av att använda gasen till el- och värmeproduktion på gården.

2.3. Ekonomi

För att kunna utvärdera om det är ekonomiskt hållbart att investera i en biogasanläggning, och i så fall vilken typ av anläggning som är mest lönsam, kommer några ekonomiska parametrar att jämföras. Parametrarna som jämförelsen utgår från är återbetalningstid (PBT), nuvärde (NPV) och internränta (IRR).

Då man producerar el finns det möjlighet att sälja överskottselen på elnätet, och det finns även möjlighet att få elcertifikat för varje producerad MWh. Vattenfall följer Nord Pools timspotpris då de köper in överskottsel. (Vattenfall, 2016) Inkomsterna för elproduktionen kan ses i Tabell 3. Spotpriset på el antas till ett fast pris trots att priset varierar.

Tabell 3 Inkomster vid produktion av el. (Nord Pool, 2016) (Energimyndigheten, 2016)

Inkomster [kr/MWh]	
Försäljning av el	300
Elcertifikat	130

3. Metod

I denna del presenteras de metoder och beräkningar som använts för att kunna lösa problemet.

3.1. Uppehållstid och organisk belastning

För att beräkna den organiska belastningen användes följande formel

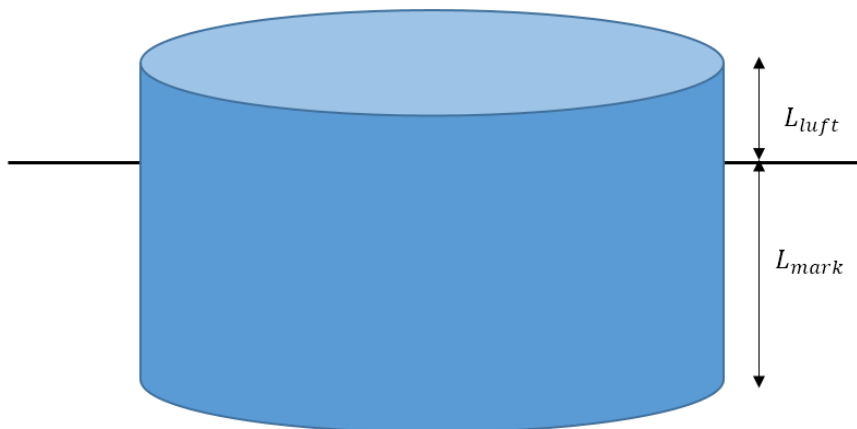
$$\text{Organisk belastning} = \frac{F * K}{V}, \quad (1)$$

där F är flödet av substrat, K är koncentrationen på substratet och V är röt-kammarens volym. För att beräkna volymen på röt-kammaren antogs en uppehållstid och sedan användes följande formel:

$$\text{Uppehållstid} = \frac{V}{F}. \quad (2)$$

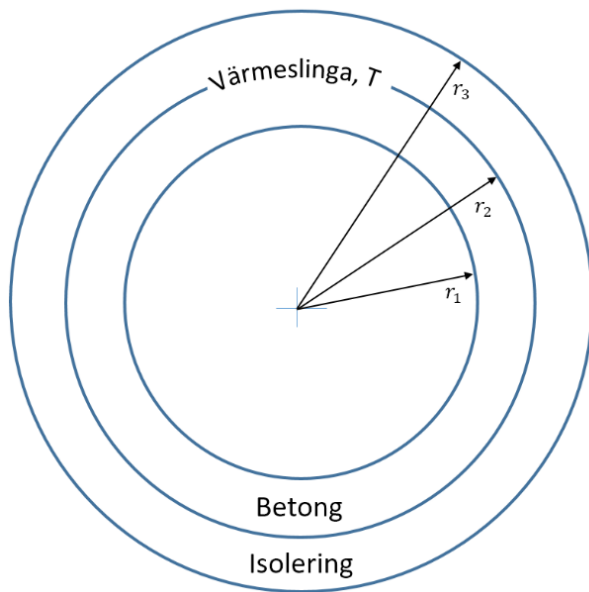
3.2. Röt-kammare

Ett önskemål från beställaren var att röt-kammaren skulle vara så lite synlig som möjligt, vilket gjorde att beräkningarna utfördes på en kammare som var delvis under och delvis ovan mark. För att underlätta beräkningarna antogs att den del av kammaren som är ovan mark innehåller endast gas och den del som är nedgrävd innehåller endast substrat. Figur 2 visar en principskiss på röt-kammarens placering i marken.



Figur 2 Röt-kammarens placering.

I Figur 3 visas röt-kammarens uppbyggnad; en kammare i betong med utvändiga värmerör och isolering, utifrån volymen bestämdes höjden och radien på röt-kammaren. Variablerna för de olika materialen kan ses i Tabell 1 i Kapitel 2.1.3.



Figur 3 Materialfördelning i röt-kammaren samt radien till dessa material.

3.3. Gasutbyte

Mängden producerad biogas beräknades genom:

$$\text{Volym producerad biogas} = \text{massa VV} * \text{biogasutbytet} \quad (3)$$

och mängden producerad metan beräknades genom:

$$\text{Volym producerad metan} = \text{massa VV} * \text{TS} * \text{VS} * \text{metanutbytet}. \quad (4)$$

Sedan kunde energiinnehållet i rågasen beräknas genom:

$$\text{Energiinnehåll} = \text{värmevärde metan} * \text{volym producerad metan}. \quad (5)$$

Volymen nötflytgödsel är given från uppdragsgivaren. Då TS-halten är låg, enligt Tabell 2, kunde densiteten, ρ , för gödseln antas vara densamma som för vatten, dvs. 1000 kg/m^3 . Massan gödsel är därefter beräknad, värdena på volymen och massan kan ses i Tabell 4.

Tabell 4 Volym och massa för nötflytgödsel.

Antal kor	80	200
Volym ($\text{m}^3/\text{år}$)	4 000	10 000
Massa ($\text{ton}/\text{år}$)	4 000	10 000

Massan på avfallet från bageriet och hundmatstillverkningen är också given från beställaren. Massan på allt avfall är 100 ton, och ett antagande har gjorts att hälften kommer från bageriet och hälften från hundmatstillverkningen. Då densiteterna för dessa avfall är okända har de antagits till 1000 kg/m^3 och därmed kunde volymen beräknas (Länsstyrelsen, 2010). Volymen och massan kan ses i Tabell 5.

Tabell 5 Massa och volym på avfallet som inte kommer från gården.

Typ av avfall	Massa (ton/år)	Volym (m ³ /år)
Bageri	50	50
Hundmat	50	50

Då avfallet från bageriet och hundmatstillverkningen har en hög TS-halt, som kan ses i Tabell 5, blöts de upp till samma TS-halt som nötflytgödseln, dvs. till 9 %, för att lättare kunna pumpa dem. Detta gör att massan på gödseln ökar till cirka 372,2 respektive 233,3 ton, som även kan ses i Tabell 6.

Tabell 6 Massa och volym på avfallet som inte kommer från gården, då TS-halten är justerad till 9%.

Typ av avfall	Massa (ton/år)	Volym (m ³ /år)
Bageri	372,2	372,2
Hundmat	233,3	233,3

3.4. Värmebehov och värmeförluster

För att veta hur mycket av den totala energin i gasen som går åt till rötprocessen undersöktes mängden energi som krävs för att värma det ingående substratet till den önskade temperaturen, och hur mycket energi som behövs för att hålla temperaturen i kammaren konstant. Dessa beräkningar delades upp i tre fall: uppvärmning av ingående substrat, värmeförluster och varmhållning av substrat under respektive ovan mark, då kammaren kommer vara delvis nedgrävd i marken, som sågs i Figur 2.

3.4.1. *Ingående substrat*

Substratet som ska in i röt-kammaren kommer från en blandningstank som är en oisolerad betongbrunn som är nedgrävd i marken i ladugården. Ladugården håller en temperatur på cirka 8 °C och marken cirka 4 °C, därav antogs substratets temperatur till 5 °C. Då mesofil rötning kommer att tillämpas måste substratet därför värmas till 37 °C. För att beräkna värmebehovet för detta användes följande ekvation:

$$P = \dot{m}C_p\Delta T \quad (6)$$

där C_p för substratet antogs vara samma som för vatten, på grund av den låga torrsustanshalten. Då massan substrat är känd och en kontinuerlig pumpning antogs kunde massflödet räknas ut på följande sätt:

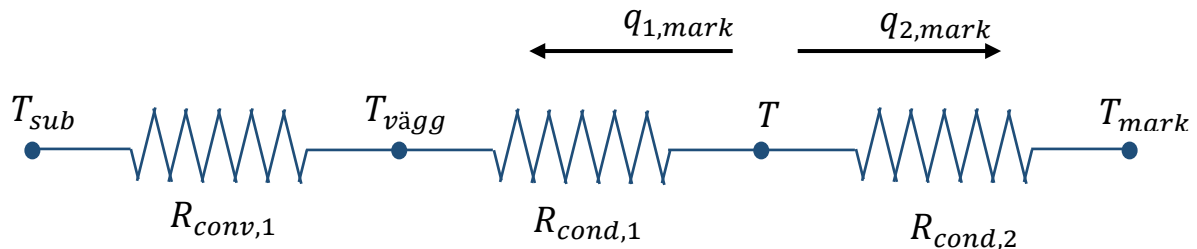
$$\dot{m} = \frac{\text{massa substrat}}{\text{sekunder på ett år}} \quad (7)$$

För att minska behovet av extern värmning av ingående substrat har möjligheterna till värmväxling undersökts. I det fall då bara den egna gödseln rötas kan det ingående substratet värmväxlas mot den utgående rötresten och en del av värmebehovet kan uppfyllas. Då hygienisering tillämpas, det vill säga vid samrötning med andra substrat, finns mer spillvärme att ta reda på om den ingående gödseln både värmväxlas mot den utgående rötresten och mot

substratet som hygieniserats. För att ta reda på hur mycket värme som kan tas till vara på vid värmeväxling användes pinchanalys.

3.4.2. Under mark

För att beräkna värmeöverföringen i den del av röt-kammaren som är placerad under mark, skissades först den termiska kretsen upp, denna kan ses i Figur 4.



Figur 4 Termisk resistans för den del av röt-kammaren som är under mark.

För att beräkna värmeöverföringen från värmeslingan in till substratet användes:

$$q_{1,mark} = \frac{T - T_{sub}}{R_{conv,1} + R_{cond,1}} \quad (8)$$

där

$$R_{conv,1} = \frac{1}{h_{substrat} 2\pi r_1 L_{mark}} \quad (9)$$

och

$$R_{cond,1} = \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi k_{betong} L_{mark}} \quad (10)$$

För att sedan beräkna värmeförlusten ut till marken användes:

$$q_{2,mark} = \frac{T - T_{mark}}{R_{cond,2}} \quad (11)$$

där

$$R_{cond,2} = \frac{\ln(r_3/r_2)}{2\pi k_{isolering} L_{mark}} \quad (12)$$

För att kunna bestämma temperaturen på värmeslingan räknades det totala värmebehovet för att hålla 37 °C i kammaren enligt Ekvation 13, vilket sedan antogs måste uppfyllas av q_1 , det vill säga värmen som går in till substratet, se Figur 4. Utifrån detta kunde målsökningsfunktionen i Excel användas för att ta reda på temperaturen på värmeslingan, som antogs ha en homogen temperatur, trots att det finns ett vattenflöde genom rören.

$$q_{tot,mark} = \frac{T_{substrat} - T_{mark}}{R_{tot}} \quad (13)$$

där

$$R_{tot} = R_{conv,1} + R_{cond,1} + R_{cond,2} \quad (14)$$

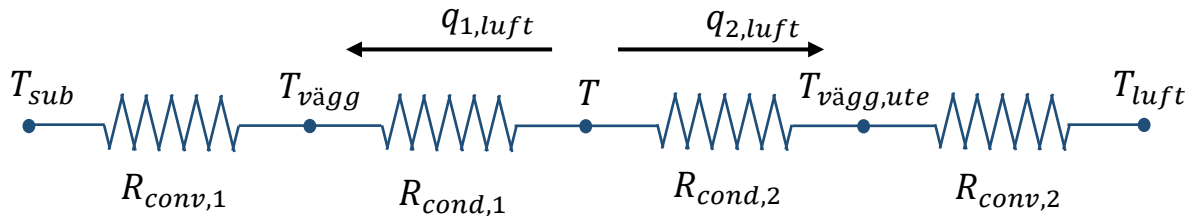
Marken antogs ha en medeltemperatur på 4 °C.

Det totala värmebehovet, inklusive förlusten ut i marken, räknades sedan som

$$q_{1,mark} + q_{2,mark} \quad (15)$$

3.4.3. Ovan mark

Då en del av röt-kammaren kommer att vara ovan mark måste förlusterna för detta räknas separat. Uppbyggnaden är samma som för den del som är nedgrävd i marken, som sågs i Figur 3. Den enda skillnaden är att delen som är i luften antas innehålla endast gas och måste därför ytbehandlas på insidan för att skydda betongen från gasen. Ett antagande om att detta inte påverkar värmeöverföringen har gjorts, vilket ger den termiska resistensen som kan ses i Figur 5.



Figur 5 Termisk resistans för den delen av röt-kammaren som är ovan mark.

För värmeöverföringen in till substratet, eller gasen i detta fall, användes följande ekvation:

$$q_{1,luft} = \frac{T - T_{sub}}{R_{conv,1} + R_{cond,1}} \quad (16)$$

där

$$R_{conv,1} = \frac{1}{h_{gas} 2\pi r_1 L_{luft}} \quad (17)$$

och

$$R_{cond,1} = \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi k_{betong} L_{luft}} \quad (18)$$

För förlusterna till omgivande luft användes följande ekvation:

$$q_{2,luft} = \frac{T - T_{luft}}{R_{cond,2} + R_{conv,2}} \quad (19)$$

där

$$R_{cond,2} = \frac{\ln(r_3/r_2)}{2\pi k_{isolering} L_{luft}} \quad (20)$$

och

$$R_{conv,2} = \frac{1}{h_{luft} 2\pi r_3 L_{luft}} \cdot \quad (21)$$

Den temperatur, T, som togs fram med hjälp av målsökningsfunktionen användes i beräkningarna ovan och q_1 kontrollerades mot

$$q_{tot,luft} = \frac{T_{gas} - T_{luft}}{R_{tot}} \quad (22)$$

där

$$R_{tot} = R_{conv,1} + R_{cond,1} + R_{cond,2} + R_{conv,2} \cdot \quad (23)$$

Det totala värmebehovet, inklusive förlusten ut till omgivande luft, räknades sedan som

$$q_{1,luft} + q_{2,luft} \quad (24)$$

Temperaturen på gasen antogs vara samma som för substratet, det vill säga 37 °C, och temperaturen på luften hämtades som årsmedeltemperaturen för Överkalix, vilket är 1,5 °C. (SMHI, 2016)

Om $q_1 < q_{tot}$ uppfylls inte värmebehovet i denna del av rötchammaren, det vill säga den del som är ovan mark. Detta innebär att målsökningsfunktionen måste utföras på delen ovan mark istället för på delen under marken, och en ny temperatur på värmeslingan fås.

Det totala värmebehovet för hela rötchammaren räknades sedan ut som summan av värmebehovet för delen under respektive ovan mark, det vill säga summan av Ekvation 15 och Ekvation 24.

3.4.4. Hygienisering

Vid hygieniseringen måste ingående substrat först värmas från cirka 5 °C till 70 °C, energiåtgången för detta beräknades på samma sätt som för nötflytgödseln, med Ekvation 6. Hygieniseringsprocessen sker i en mindre behållare än rötningen, i detta fall antogs volymen till 1 m³. Även beräkningarna för varmhållningen av substratet har gjorts på liknande sätt som för rötchammaren, med skillnaden att hela hygieniseringstanken är ovan mark. Den termiska kretsen för tanken blir lika som i Figur 5, det vill säga den del av rötchammaren som är i luften, och värmeåtgången kunde därför räknas som

$$q_1 + q_2 = \frac{T - T_{sub}}{R_{conv,1} + R_{cond,1}} + \frac{T - T_{luft}}{R_{cond,2} + R_{conv,2}} \quad (25)$$

med

$$R_{conv,1} = \frac{1}{h_{substrat} 2\pi r_1 L} \cdot \quad (26)$$

$$R_{cond,1} = \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi k_{betong} L} \cdot \quad (27)$$

$$R_{cond,2} = \frac{\ln(r_3/r_2)}{2\pi k_{isolering} L} \quad (28)$$

och

$$R_{conv,2} = \frac{1}{h_{luft} 2\pi r_3 L} \cdot \quad (29)$$

På samma sätt som för röttkammaren bestämdes temperaturen, T , med hjälp av målsökningsfunktionen i Excel, där q_1 måste uppfylla q_{tot} som beräknades med

$$q_{tot} = \frac{T_{substrat} - T_{luft}}{R_{tot}} \quad (30)$$

där

$$R_{tot} = R_{conv,1} + R_{cond,1} + R_{cond,2} + R_{conv,2} \cdot \quad (31)$$

3.5. Ekonomi

De olika investeringarna jämfördes med hjälp av återbetalningstid, nuvärde och internränta. För att kunna beräkna dessa parametrar behövdes en kassaflödeskalkyl.

$$Nettokassaflöde = Nettoinkomst - Bruttoinkomst \quad (32)$$

Då bruttoinkomsten ska beräknas måste hänsyn tas till avskrivningen. Avskrivningen beräknades genom

$$Avskrivning = a * CAPEX \quad (33)$$

där

$$a = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (34)$$

och i är realräntan och n är den ekonomiska livslängden. Realräntan antogs till 4 % och den ekonomiska livslängden till 25 år.

Återbetalningstiden (PBT) beräknades genom:

$$PBT = \frac{CAPEX}{R_j - C_{OPEX,j}} \cdot \quad (35)$$

Där $CAPEX$ är alla utgifter före kommersiell drift, R_j är omsättning år j och $C_{OPEX,j}$ är rörelsekostnader år j . Nuvärdet (NPV) beräknades genom:

$$NPV = \sum_0^{ELT} \frac{(R_j - C_{OPEX,j} - C_{CAPEX,j})}{(1+i)^j} \cdot \quad (36)$$

Där ELT är ekonomisk livslängd och $C_{CAPEX,j}$ är investeringar år j . Internräntan (IRR) bestämdes genom att hitta ett värde på IRR då nuvärdet (NPV) blir noll.

$$NPV = \sum_0^{ELT} \frac{(R_j - C_{opex,j} - C_{CAPEX,j})}{(1 + IRR)^j} = 0 . \quad (37)$$

Investeringskostnaderna för anläggningen för 80 respektive 200 kor och hygieniseringsanläggningen kan ses i Tabell 7. Offerterna för investeringarna är givna från MMG konsult AB.

Tabell 7 Investeringskostnad för de olika anläggningarna.

	Investeringskostnad [MSEK]
Anläggning för 80 kor	4
Anläggning för 200 kor	6
Hygieniseringsanläggning	2

För att kunna jämföra dagens kostnader med vad de framtida kostnaderna blir, då uppvärmning sker med biogas istället för flis, har beställaren uppgett hur mycket arbete han lägger ner och hur mycket det kostar. Kostnaderna för hela dagens anläggning kan ses i Tabell 8.

Tabell 8 Dagens utgifter för el och värme på gården.

Dagens kostnadstyper	Kostnad [kr/år]
El	70 000
Fliskostnad	50 000
Underhåll	6 250
Flislastning	33 000
TOTALT	159 250

I Tabell 9 kan underhållskostnaderna ses för respektive typ av rötanläggning.

Tabell 9 Underhållskostnader vid rötning av nötflytgödsel respektive samrötning.

	Kostnad [kr/år]
Underhåll vid rötning av nötflytgödsel	45 625
Underhåll vid samrötning	182 500

Då biogas produceras ökar inte bara utgifterna utan även inkomsterna. Producenten får betalt för all el som produceras och även all el som säljs. Han har även möjlighet att ta betalt för att ta hand om annat avfall. I Tabell 10 kan inkomsterna som antagits för att ta emot avfall ses. För avfallet från hundmatstillverkning har ett antagande gjorts att uppdragsgivaren kommer få lika mycket betalt som Bodens kommun får idag för att ta emot avfallet. För bageriavfallet antogs att han inte kommer få betalt alls, då det inte finns några uppgifter på vad de är villiga att betala för att bli av med det.

Tabell 10 Inkomster för att ta emot avfall.

Inkomster	
Hundmatrester [kr/ton]	650
Bagerirester [kr/ton]	0

4. Resultat

I denna del presenteras resultaten från beräkningarna.

4.1. Upphållstid och organisk belastning

En upphållstid på 30 dagar antogs och utifrån Ekvation 2 beräknades volymen på rötammaren till cirka 329 m³ för 80 kor och cirka 822 m³ för 200 kor. För att få jämna dimensioner på kammaren blev volymerna 347,4 m³ respektive 823,5 m³.

4.2. Rötammare

Efter volymen beräknats kunde rötammarens dimensioner tas fram, dessa presenteras i Tabell 11 nedan.

Tabell 11 Dimensioner på rötammare.

Antal kor	Höjd ovan mark Luft [m]	Höjd under mark L _{mark} [m]	Innerradie r ₁ [m]	Radie utsida betong r ₂ [m]	Radie utsida isolering r ₃ [m]
80	1	3,8	4,8	5	5,2
200	1	5,4	6,4	6,6	6,8

4.3. Gasutbyte

Nedan presenteras resultaten för gasutbytet för respektive typ av anläggning.

4.3.1. Rötning av nötflytgödsel

Genom Ekvation 3 och parametrarna i Tabell 2 och Tabell 4 beräknades volymen producerad biogas för 80 kor och 200 kor till

$$4000 * 22 = 88\ 000\ Nm^3$$

respektive

$$10\ 000 * 22 = 220\ 000\ Nm^3.$$

Genom Ekvation 4 och parametrarna i Tabell 2 och Tabell 4 beräknades volymen producerad metan för 80 kor och 200 kor till

$$4\ 000 * 0,09 * 0,8 * 213 = 61\ 344\ Nm^3$$

respektive

$$10\ 000 * 0,09 * 0,8 * 213 = 153\ 360\ Nm^3.$$

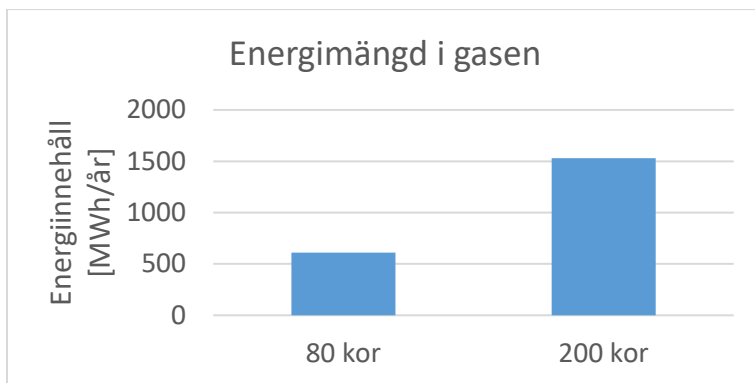
Därefter kunde energiinnehållet i rågasen beräknas genom Ekvation 5 och parametrarna i Tabell 2 till

$$61\ 344 * 9,97 = 611\ 599,7\ kWh = 611,6\ MWh$$

respektive

$$153\ 360 * 9,97 = 1\ 528\ 999,2\ kWh = 1\ 528,0\ MWh.$$

Resultatet av energimängden för 80 respektive 200 kor kan även ses i Figur 6.



Figur 6 Energimängd i rågasen vid rötning av nötflytgödsel.

4.3.2. Samrötning

Då mängden bageriavfall respektive hundmatsavfall är oberoende av antalet kor kunde mängden gas beräknas för endast ett fall. Därefter kunde den totala mängden gas beräknas i de två olika fallen, 80 respektive 200 kor.

Genom Ekvation 3 och parametrarna i Tabell 2 och Tabell 5 beräknades volymen producerad biogas för bageriavfall och hundmatsavfall till

$$50 * 280 = 14\ 000\ Nm^3$$

respektive

$$50 * 537 = 26\ 850\ Nm^3.$$

Genom Ekvation 4 och parametrarna i Tabell 2 och Tabell 5 beräknades volymen producerad metan för bageriavfall och hundmatsavfall till

$$50 * 0,67 * 0,9 * 290 = 8\ 743,5\ Nm^3$$

respektive

$$50 * 0,42 * 0,98 * 930 = 19\ 139,4\ Nm^3.$$

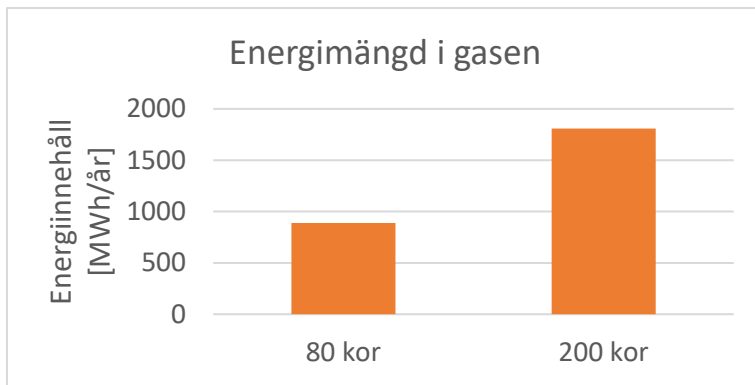
Därefter kunde energiinnehållet i rågasen för bageriavfall och hundmatsavfall beräknas genom Ekvation 5 och parametrarna i Tabell 2 till

$$8\ 723,5 * 9,97 = 87\ 172,7\ kWh = 87,2\ MWh$$

respektive

$$19\ 139,4 * 9,97 = 190\ 819,8\ kWh = 190,8\ MWh.$$

Då energimängden i gasen från nötflytgödsel redan beräknats kunde alla energimängder adderas ihop för att få reda på den totala energimängden i gasen vid samrötning. Energimängden för alla avfall kan ses i Figur 7.



Figur 7 Energimängd i rågasen vid samrötning.

4.4. Värmebehov och värmeförluster

Nedan presenteras värmebehoven och förlusterna vid rötning och hygienisering av substraten.

4.4.1. Rötning av nötflytgödsel

För att veta hur mycket av energin i gasen som kan användas för tillverkning av el och värme måste värmebehovet i röt-kammaren först bestämmas, vilket innefattar både uppvärmning och varmhållning av substratet.

Den energi som behövs för att värma upp substratet beräknades med Ekvation 6. För 80 kor behövs

$$0,127 * 4,18 * (37 - 5) = 16,97 \text{ kW}$$

och för 200 kor behövs

$$0,317 * 4,18 * (37 - 5) = 42,42 \text{ kW}.$$

Massflödena har beräknats enligt Ekvation 7, med värden från Tabell 4.

Delar av detta värmebehov kan tillgodoses med värmen som finns i rötresten och då ett ΔT_{\min} på 5 °C valdes behöver endast 15,6 % av värmebehovet komma från extern värme. I Figur 10 och Figur 11 i Bilaga 1 visas pinchanalysen för värmeväxlingen.

Värmebehovet för att hålla substratet vid 37 °C beräknades med Ekvation 8 - 12. För 80 kor blev resultatet:

$$q_{1,mark} = \frac{38,55 - 37}{R_{conv,1} + R_{cond,1}} = 1247,51 \text{ W}$$

där

$$R_{conv,1} = \frac{1}{500 * 2 * \pi * 4,8 * 3,8} = 1,75 * 10^{-5} \text{ K/W}$$

och

$$R_{cond,1} = \frac{\ln\left(\frac{5}{4,8}\right)}{2\pi * 1,4 * 3,8} = 0,0012 \text{ K/W},$$

$$q_{2,mark} = \frac{38,55 - 4}{R_{cond,2}} = 778,11 \text{ W}$$

där

$$R_{cond,2} = \frac{\ln\left(\frac{5,2}{5}\right)}{2\pi * 0,037 * 3,8} = 0,044 \text{ K/W.}$$

Det totala värmebehovet för den del av röt-kammaren som är under mark beräknades med Ekvation 15.

$$1247,51 + 778,11 = 2025,62 \text{ W}$$

För den del av röt-kammaren som är ovan mark användes Ekvation 16 - 21 för att beräkna värmebehovet.

$$q_{1,luft} = \frac{38,55 - 37}{R_{conv,1} + R_{cond,1}} = 194,22 \text{ W}$$

där

$$R_{conv,1} = \frac{1}{10 * 2\pi * 4,8 * 1} = 0,0033 \text{ K/W}$$

och

$$R_{cond,1} = \frac{\ln\left(\frac{5}{4,8}\right)}{2\pi * 1,4 * 1} = 0,0046 \text{ K/W,}$$

$$q_{2,mark} = \frac{38,55 - 1,5}{R_{cond,2} + R_{conv,2}} = 211,89 \text{ W}$$

där

$$R_{cond,2} = \frac{\ln\left(\frac{5,2}{5}\right)}{2\pi * 0,037 * 1} = 0,17 \text{ K/W}$$

och

$$R_{conv,2} = \frac{1}{5 * 2\pi * 5,2 * 1} = 0,0061 \text{ K/W.}$$

Det totala värmebehovet för den del som är över mark beräknades med Ekvation 24.

$$194,22 + 211,89 = 406,11 \text{ W}$$

Värmebehovet för hela röt-kammaren, för 80 kor, beräknades sedan som summan av Ekvation 15 och 24:

$$2025,62 + 406,11 = 2431,73 \text{ W .}$$

För 200 kor gjordes samma beräkningar, vilket gav:

$$q_{1,mark} = \frac{38,53 - 37}{R_{conv,1} + R_{cond,1}} = 2325,16 \text{ W}$$

där

$$R_{conv,1} = \frac{1}{500 * 2 * \pi * 6,4 * 5,4} = 9,21 * 10^{-6} \text{ K/W}$$

och

$$R_{cond,1} = \frac{\ln(6,6/6,4)}{2\pi * 1,4 * 5,4} = 0,00065 \text{ K/W},$$

$$q_{2,mark} = \frac{38,53 - 4}{R_{cond,2}} = 1451,96 \text{ W}$$

där

$$R_{cond,2} = \frac{\ln(6,8/6,6)}{2\pi * 0,037 * 5,4} = 0,024 \text{ K/W}.$$

Det totala värmebehovet för den del av rötchammaren som är under mark beräknas med Ekvation 15.

$$2325,16 + 1451,96 = 3777,12 \text{ W}$$

Även värmebehovet ovan mark beräknades på samma sätt som för 80 kor.

$$q_{1,luft} = \frac{38,53 - 37}{R_{conv,1} + R_{cond,1}} = 255,25 \text{ W}$$

där

$$R_{conv,1} = \frac{1}{10 * 2\pi * 6,4 * 1} = 0,0025 \text{ K/W}$$

och

$$R_{cond,1} = \frac{\ln(6,6/6,4)}{2\pi * 1,4 * 1} = 0,0035 \text{ K/W},$$

$$q_{2,luft} = \frac{38,53 - 1,5}{R_{cond,2} + R_{conv,2}} = 278,21 \text{ W}$$

där

$$R_{cond,2} = \frac{\ln(6,8/6,6)}{2\pi * 0,037 * 1} = 0,13 \text{ K/W}$$

och

$$R_{conv,2} = \frac{1}{5 * 2\pi * 6,8 * 1} = 0,0047 \text{ K/W.}$$

Det totala värmebehovet för den del som är över mark beräknades med Ekvation 24.

$$255,25 + 278,21 = 533,46 \text{ W}$$

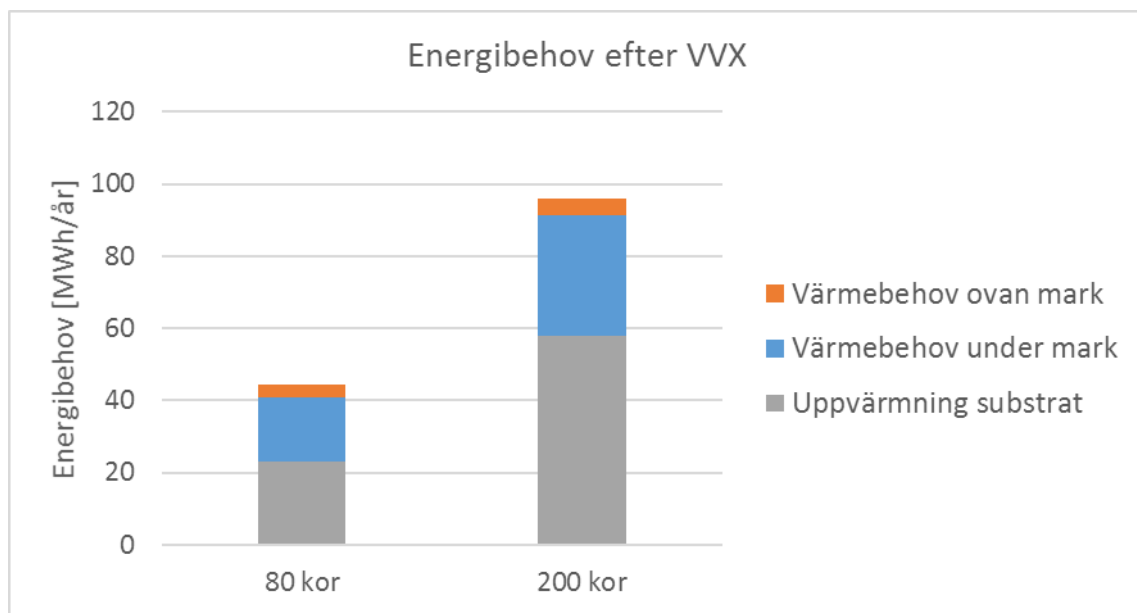
Värmebehovet för hela rötammaren, för 200 kor, beräknades sedan som summan av Ekvation 15 och 24:

$$3777,12 + 533,46 = 4310,58 \text{ W .}$$

Det totala värmebehovet för hela rötprocessen presenteras i Tabell 12 och fördelningen av värmebehovet för de olika delarna av processen presenteras i Figur 8.

Tabell 12 Värmebehov för rötprocess.

Antal kor	Värmebehov uppvärmning [MWh/år]	Värmebehov efter VVX [MWh/år]	Värmebehov ovan mark [MWh/år]	Värmebehov under mark [MWh/år]	Totalt värmebehov efter VVX [MWh/år]
80	149	23	4	18	46
200	372	58	5	33	96



Figur 8 Energibehov vid röming av nödflytgödsel efter tillvaratagande av spillvärme genom värmeväxling.

Temperaturen T som användes för att beräkna q_1 och q_2 har, som beskrivits i Kapitel 3.4, tagits fram med hjälp av målsökningsfunktionen i Excel. Värdena som q_1 måste uppfylla i de båda fallen, under och över mark, ges av Ekvation 13 respektive 22.

För 80 kor krävs:

$$q_{tot,mark} = \frac{37 - 4}{1,75 * 10^{-5} + 0,0012 + 0,044} = 723,12 \text{ W}$$

$$q_{tot,luft} = \frac{37 - 1,5}{0,0033 + 0,0046 + 0,17 + 0,0061} = 194,22 \text{ W}$$

$q_{tot,mark} < q_{1,mark}$ och $q_{tot,luft} = q_{1,luft}$ vilket innebär att värmebehovet är uppfyllt.

För 200 kor krävs:

$$q_{tot,mark} = \frac{37 - 4}{9,21 * 10^{-6} + 0,00065 + 0,024} = 1350,41 \text{ W}$$

$$q_{tot,luft} = \frac{37 - 1,5}{0,0025 + 0,0035 + 0,13 + 0,0047} = 255,25 \text{ W}$$

$q_{tot,mark} < q_{1,mark}$ och $q_{tot,luft} = q_{1,luft}$ vilket innebär att värmebehovet är uppfyllt.

4.4.2. Samrötning

Hygieniseringen som krävs vid samrötning har ett uppvärmningsbehov som beräknades på samma sätt som för gödseln, med Ekvation 6.

$$P = 0,019 * 4,18 * (70 - 5) = 5,22 \text{ kW}$$

Värmebehovet för att sedan hålla substratet vid 70 °C beräknades med Ekvation 25 - 29.

$$q_1 + q_2 = \frac{72,2 - 70}{R_{conv,1} + R_{cond,1}} + \frac{72,2 - 1,5}{R_{cond,2} + R_{conv,2}} = 129,97 \text{ W}$$

där

$$R_{conv,1} = \frac{1}{500 * 2\pi * 0,56 * 1} = 5,68 * 10^{-4} \text{ K/W},$$

$$R_{cond,1} = \frac{\ln(0,76/0,56)}{2\pi * 1,4 * 1} = 0,035 \text{ K/W},$$

$$R_{cond,2} = \frac{\ln(0,96/0,76)}{2\pi * 0,037 * 1} = 1,005 \text{ K/W}$$

och

$$R_{conv,2} = \frac{1}{5 * 2\pi * 0,96 * 1} = 0,033 \text{ K/W}.$$

Temperaturen, T, har tagits fram med hjälp av målsökningsfunktionen i Excel genom att sätta q_1 lika med värmeförlusten till omgivningen, vilken ges av:

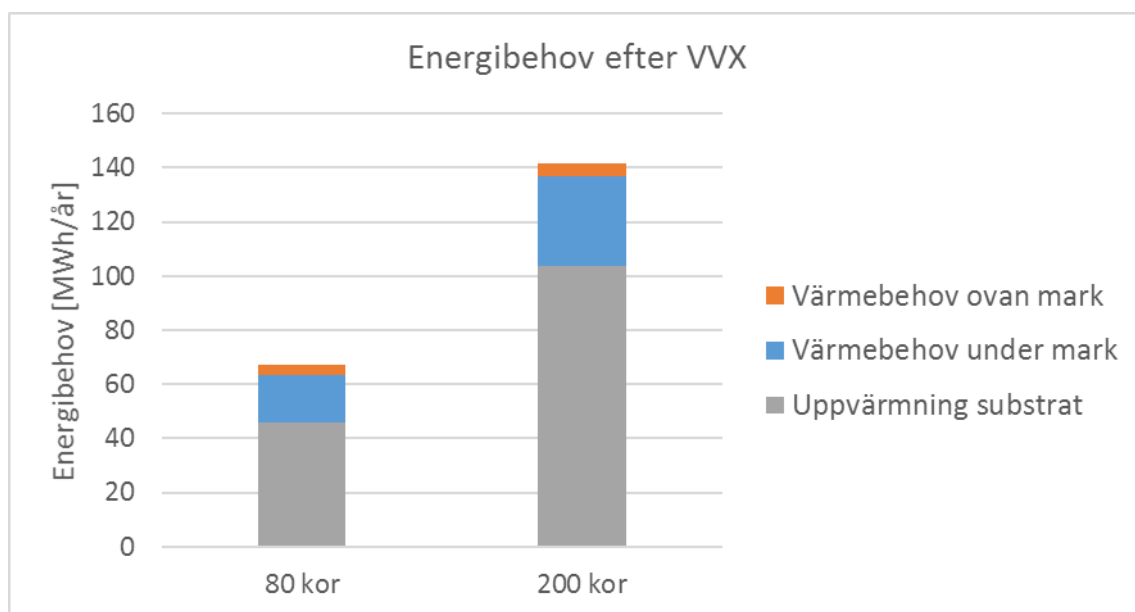
$$q_{tot} = \frac{70 - 1,5}{5,68 * 10^{-4} + 0,035 + 1,005 + 0,033} = 63,8 \text{ W}.$$

Substratet som har hygieniserats måste kylas ner innan det går in i rötchammaren, och därför har möjligheterna att värmeväxla det mot ingående gödsel undersökts. Då det krävs mycket energi för att värma den ingående gödseln kan även rötresten värmeväxlas mot ingående substrat, precis som innan. Om maximal mängd värme tas till vara på från de varma flödena, och ΔT_{min} är 5 °C, krävs ingen extern värme för 80 kor medan för 200 kor behöver cirka 15,6 % av uppvärmningsbehovet tillgodoses med extern värme. Pinchanalysen för undersökningen av

möjligheterna att värmeväxla kan ses i Figur 12 och Figur 13 i Bilaga 1. Det totala värmebehovet för hela rötprocessen inklusive hygieniseringen presenteras i Tabell 13 och fördelningen av värmebehov mellan de olika delarna i samröttningsprocessen kan ses i Figur 9.

Tabell 13 Värmebehov för rötprocess, inklusive hygienisering.

Antal kor	Värmebehov uppvärmning [MWh/år]	Värmebehov efter VVX [MWh/år]	Värmebehov ovan mark [MWh/år]	Värmebehov under mark [MWh/år]
80	149	0	4	18
200	372	58	5	33
Antal kor	Värmebehov uppvärmning hygienisering [MWh/år]	Värmebehov varmhållning hygienisering [MWh/år]	Totalt värmebehov för rötning och hygienisering [MWh/år]	
80	46	0,2	67	
200	46	0,2	142	



Figur 9 Energibehov vid samrötning efter tillvaratagande av spillvärme genom värmeväxling.

4.5. Ekonomi

I denna del presenteras de ekonomiska resultaten för respektive biogasanläggning.

4.5.1. Rötning av nötflytgödsel

Utifrån investeringskostnad, bidrag, inkomster och utgifter har en kassaflödeskalkyl ställts upp. Kassaflödeskalkylen kan ses i Tabell 14.

Tabell 14 Kassaflödeskalkyl vid rötning av nötflytgödsel.

Investeringskostnad			
Antal kor	80	200	
Investering	4 000 000	6 000 000	kr
Bidrag	1 600 000	2 400 000	kr
CAPEX	2 400 000	3 600 000	kr
Årligt pengaflöde			
Inkomst	70 079	247 345	kr/år
Sparad kostnad	159 250	159 250	kr/år
Certifikat	43 367	120 183	kr/år
Underhållskostnad	-45 625	-45 625	kr/år
Avskrivning	-153 629	-230 443	kr/år
Bruttoinkomst	-85 808	91 460	kr/år
Skatt @ 22%	0	20 121	kr/år
Nettoinkomst	73 442	270 831	kr/år
Nettokassaflöde	227 071	501 274	kr/år

Utifrån kassaflödeskalkylen och Ekvation 35-37 har de ekonomiska jämförelsetalen beräknats. Resultaten kan ses i Tabell 15.

Tabell 15 Ekonomiska jämförelsetal vid rötning av nötflytgödsel.

Antal kor	80	200
Återbetalningstid [år]	11	8
Nettonuvärde [MSEK]	1,15	4,23
Internränta [%]	8,1	13,3

4.5.2. Samrötning

Utifrån investeringskostnad, bidrag, inkomster och utgifter har en kassaflödeskalkyl ställts upp. Kassaflödeskalkylen kan ses i Tabell 16.

Tabell 16 Kassaflödeskalkyl vid samrötning.

Investeringskostnad			
Antal kor	80	200	
Investering	6 000 000	8 000 000	kr
Bidrag	2 400 000	3 200 000	kr
CAPEX	3 600 000	4 800 000	kr
Årligt pengflöde			
Inkomst	154 189	324 513	kr/år
Sparad kostnad	159 250	159 250	kr/år
Certifikat	65 732	139 539	kr/år
Underhållskostnad	-182 500	-182 500	kr/år
Avskrivning	-230 443	-307 257	kr/år
Bruttoinkomst	-193 022	-25 705	kr/år
Skatt @ 22%	0	0	kr/år
Nettoinkomst	-33 772	133 545	kr/år
Nettokassaflöde	196 671	440 802	kr/år

Utifrån kassaflödeskalkylen och Ekvation 35-37 har de ekonomiska jämförelsetalen beräknats. Resultaten kan ses i Tabell 17.

Tabell 17 Ekonomiska jämförelsetal vid samrötning.

Antal kor	80	200
Återbetalningstid [år]	19	11
Nettonuvärde [MSEK]	-0,528	2,086
Internränta [%]	2,6	7,8

5. Diskussion och slutsatser

I projektet har många antaganden gjorts, där grunden hela tiden varit att vi hellre räknar lite lågt för att det sedan kanske kan bli bättre än så i praktiken, istället för att räkna på bästa möjliga värden och att det senare visar sig vara mycket sämre i verkligheten. Ett antagande som gjorts är att bageriavfallet endast består av deg. Detta har gjorts för att sammansättningen inte är känd och då har det avfall som ger det sämsta gasutbytet valts, för att förhoppningsvis inte få ett högre teoretiskt än verkligt gasutbyte. Resterna från hundmatstillverkningen uppgavs bestå till största del av fiskrens och därför gjordes ett antagande att det endast bestod av fiskrens. Fiskrens har ett ganska högt gasutbyte, men ändå inte högst av de olika beståndsdelar vi tänkte kan ingå i avfall från hundmatstillverkning, därför ansåg vi det rimligt att anta att avfallet bestod av fiskrens. Något som också gör det svårt att uppskatta gasutbytet är att vi blandar olika substrat, men räknar gasutbytet på varje substrat för sig. Det är alltså inte säkert att det beräknade gasutbytet blir lika med eller lägre än det verkliga.

Två andra antaganden som gjordes under beräkningarna var att värmeslingan i röt-kammaren har en homogen temperatur och samma temperatur i början och slutet. Detta stämmer förstås inte med verkligheten, men då det är golvvärmerör man ofta använder sig av antog vi att konduktionsförlusterna var små vilket ger oss endast konvektionsförluster inne i rören, vilka vi ansåg var försumbara och därmed antog vi att slingan hade homogen temperatur. Då kammaren är totalomblandad ansåg vi det även rimligt att anta samma temperatur i början som i slutet på slingan, eftersom substratet kommer få en närmast homogen temperatur även om slingan är lite varmare i början än i slutet.

Vid samrötning, och därmed hygienisering, krävs en liten partikelstorlek vilket ofta innebär att avfallet måste malas innan det tas in i hygieniseringstanken. Då det varit svårt att få reda på vad en sådan kross skulle kosta att hålla igång har dessa kostnader inte tagits med i de ekonomiska beräkningarna. Detta påverkar alla de ekonomiska jämförelsetalen till det sämre vilket bör tas i beaktande.

För att maximera intäkterna vill vi bland annat pumpa i så få steg som möjligt, detta kan göras på ett bra sätt om man tar hänsyn till det när man bygger. Förhoppningsvis kommer man kunna bygga på ett sådant sätt att endast pumpning ut till rötrestlagret krävs. Då det idag redan finns en pump för att pumpa från blandningstanken har vi räknat med att den kan användas för att pumpa från röt-kammaren ut till rötrestlagret. För att ta in och ut substrat ur röt-kammaren hoppas vi att endast bräddning ska kunna användas och att vi alltså inte behöver pumpa något där. När samrötning tillämpas kommer förmodligen mer pumpning krävas, till exempel in och ut ur hygieniseringstanken, vilket kommer påverka driftkostnaderna negativt.

När vi räknat på hur mycket av gasen som vi kan använda har vi antagit en verkningsgrad på 70 % för processen att förflytta och omvandla gasen till el eller värme. Detta antagande gjordes utifrån verkningsgrader på motorer och pannor och antagandet att vi kommer ha en del förluster då gasen ska förflyttas från röt-kammare till lunga och sedan till motor eller panna.

Ett annat antagande som vi gjorde var att vi antingen producerar el eller värme, alltså att vi inte producerar någon värme då vi kör motorn, utan bara i pannan. Vilket innebär att vi förmodligen kan producera mer el än vi har räknat med, eftersom värmen från motorn för det mesta kommer räcka för uppvärmning och varmvatten.

Den ekonomiska livslängden antogs till 25 år utifrån livslängder på andra anläggningar. Om den ekonomiska livslängden skulle vara kortare skulle det innebära sämre värden på nettonuvärde och internränta. Dessa skulle dock fortfarande vara positiva i de fall där de är positiva idag och återbetalningstiden skulle vara konstant, vilket gör att vi anser att även om den ekonomiska livslängden förändras kommer investeringen fortfarande vara lönsam. En annan påverkan på ekonomin är om projektet får biogasstöd. Då biogasstödet är ett projekt och projekt pengar som man söker årligen har vi valt att inte räkna med det i de ekonomiska beräkningarna. Detta för att, åter igen, inte få bättre teoretiska värden än de verkliga värdena. Även investeringsstödet är lägre räknat än vad man maximalt kan få ut. Om man skulle få biogasstöd och maximalt investeringsstöd skulle detta ha en positiv inverkan på de ekonomiska beräkningarna.

Som kunde ses i resultaten från ekonomin är att en investering i en anläggning med hygienisering inte är speciellt ekonomiskt hållbar, men för att få en bredare bild på vad det skulle innebära att ta in annat avfall har vi valt att titta på en del fördelar och nackdelar med detta. Att hygienisera ger alltså mer gas och man kan därmed producera mer el och värme, vilket ökar inkomsterna, dock inte tillräckligt med de elpriser som är idag. En annan fördel med att röta annat avfall är att det tas reda på lokalt, istället för att det ska köras till Boden. Förutom nackdelen att återbetalningstiden är lång, på grund av en mycket högre investeringskostnad, kräver denna typ av anläggning mer arbete än en anläggning där man bara rötar gödsel. Om bonden själv inte har den tiden innebär det att en person måste anställas på deltid bara för att sköta biogasanläggningen, vilket ökar kostnaderna för drift och underhåll. En annan nackdel är reglerna kring karens vid spridning av rötresten från samrötning. Upp till sex veckor karens på åkrarna kommer inte vara hållbart, vilket gör att man inte kommer kunna ersätta speciellt mycket av konstgödseln med biogödsel från gården. Då vi inte räknat med de sparade utgifterna för konstgödsel kommer detta inte påverka de ekonomiska beräkningarna, men det är ändå en väldigt stor nackdel då det miljömässigt skulle vara en mycket bättre lösning att gödsla med biogödsel och att man kan ta reda på allt från röttningsprocessen. Anledningen till att konstgödseln inte är medräknad är för att det var svårt att förutspå hur mycket av gödselbehovet som kan täckas med biogödsel, och för fallet med 200 kor antar vi att mer mark kommer användas, vilket gör det ännu svårare att anta hur mycket gödsel som kommer behövas. Den del av konstgödseln som i verkligheten kan ersättas med biogödsel kommer alltså ha en positiv inverkan på de ekonomiska jämförelsetalen.

De tre ekonomiska jämförelsetalen; återbetalningstid, nettonuvärde och internränta, som använts har fått indikera vilken investering som är mest lönsam. Vi har låtit återbetalningstiden vara den parameter som fått störst betydelse då vi tycker att den är viktigast. Som kunde ses i resultaten för ekonomin hade ingen av investeringarna speciellt bra värden på jämförelsetalen, men vi ansåg att så länge återbetalningstiden var rimlig och de andra parametrarna positiva kan det vara värt att investera.

5.1. Rekommendation

Då nackdelarna är många med att hygienisera och då de ekonomiska resultaten talar för att det är en sämre investering har vi kommit fram till att man bör investera i en anläggning utan hygienisering. Eftersom djurbeståndet ändå ska utökas, och på grund av att de ekonomiska resultaten för en anläggning för 200 kor är bättre, bör man investera i en större anläggning på

en gång. Om anläggningen skulle bli klar innan djurbeståndet hunnit ökas kan den ändå användas, men med en längre uppehållstid.

5.2. Fortsatt arbete

Att gå vidare med efter detta projekt är att undersöka hur installationen praktiskt skulle se ut, var anläggningen ska placeras på gården.

Möjligheter att kunna utnyttja spillvärmen bör också undersökas. Det kommer troligast att finnas mycket spillvärme, och för att få anläggningen mer hållbar krävs det att man kan använda all värme som produceras. Vi har även haft en idé om att använda spillvärmen för att värma upp ett växthus, men det måste undersökas mer; hur mycket värme som skulle kunna användas och hur stort växthus man då skulle kunna ha. Man bör även undersöka om, och hur mycket avgaser som kan användas för att gödsla med i växthuset.

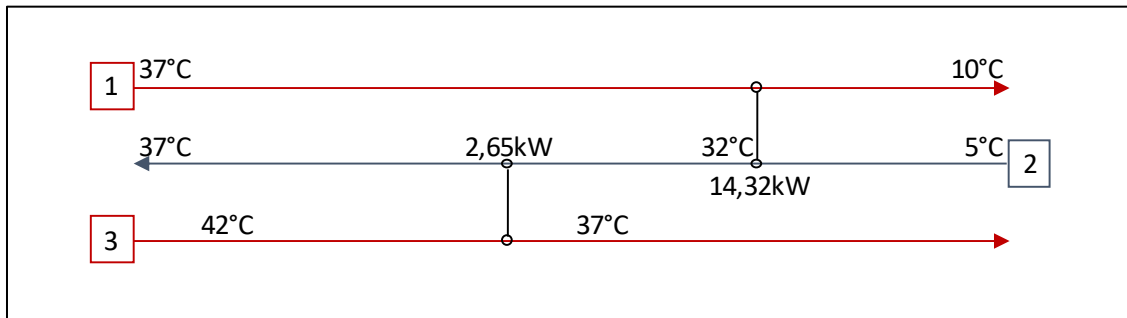
Förutom att undersöka om man kan använda spillvärmen i ett växthus bör man även undersöka andra möjligheter att utnyttja spillvärmen.

6. Referenser

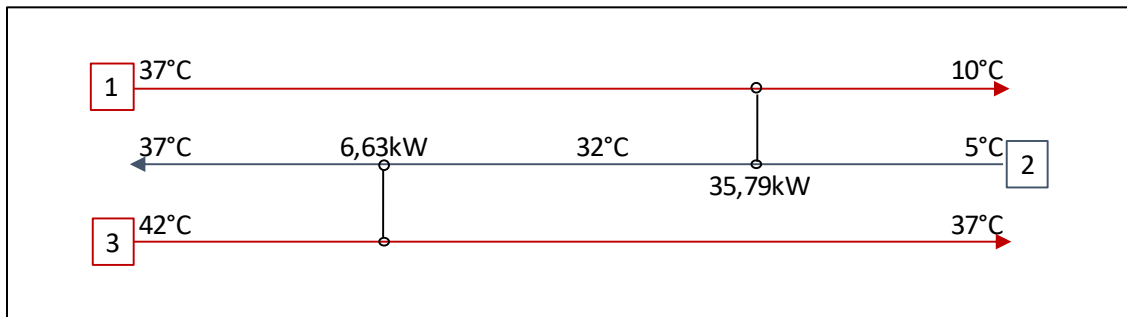
- Avfall Sverige. (den 1 november 2016). *Behandling*. Hämtat från Avfall Sverige: <http://www.avfallsverige.se/>
- Bioenergiportalen. (den 18 oktober 2010). *El med mikroturbin*. Hämtat från Bioenergiportalen: <http://www.bioenergiportalen.se/>
- Biogasportalen. (den 31 augusti 2015). *Rötning*. Hämtat från Biogasportalen: <http://www.biogasportalen.se/>
- Carlsson, M., & Uldal, M. (2009). *Substrathandbok för biogasproduktion*. Svenskt Gastekniskt Center.
- Christensson, K., Björnsson, L., Dahlgren, S., Eriksson, P., Lantz, M., Lindström, J., . . . Andersson, H. (2009). *Gårdsbiogashandboken*. Svenskt Gastekniskt Center.
- Energimyndigheten. (den 2 november 2016). *Elcertifikatsystemet*. Hämtat från Energimyndigheten: <http://www.energimyndigheten.se/>
- Incropera, F. P., Dewitt, D. P., Bergman, T. L., & Lavine, A. S. (2013). *Principles of heat and mass transfer*. Singapore: John Wiley & sons.
- Jernkontoret. (den 10 oktober 2016). *Värmeöverföring*. Hämtat från Jernkontorets energihandbok: <http://www.energihandbok.se/varmeoverforing/>
- Jordbruksverket. (den 2 november 2016). *Gödselgasstöd*. Hämtat från Jordbruksverket: www.jordbruksverket.se
- Jordbruksverket. (2016). *Rötning av animaliska bioprodukter*. Jordbruksverket.
- Länsstyrelsen. (2010). *Organiskt avfall och biprodukter från livsmedels- och fodermedelsindustrin*. Västra Götalands län.
- Nord Pool. (den 16 oktober 2016). *Elspot prices*. Hämtat från Nord Pool: www.nordpoolspot.com
- SMHI. (den 21 oktober 2016). *Meteorologiska observationer*. Hämtat från SMHI: <http://opendata-download-metobs.smhi.se/explore/#>
- Svenskt Gastekniskt Center AB. (november 2000). *Samanfattning av SGC rapporter 026 och 069*.
- Vattenfall. (den 16 oktober 2016). *Mikroproduktion - vi köper din överskotts*. Hämtat från Vattenfall: www.vattenfall.se

Bilaga 1

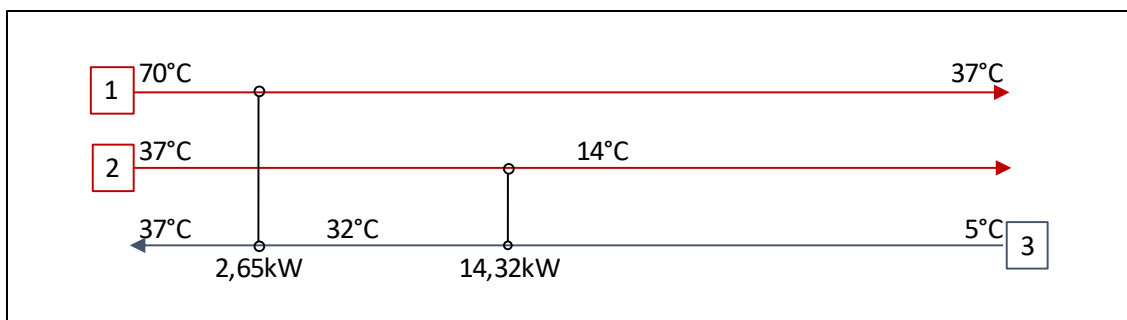
Pinchanalys för värmeväxling av ingående substrat. För fallet när endast gödsel rötas är flöde 1 rötresten, flöde 2 ingående substrat och flöde 3 är extern värmning i form av varmvatten. När samrötning tillämpas och hygienisering är en del av processen är flöde 1 det hygieniserade substratet, flöde 2 rötresten och flöde 3 det ingående substratet. För 200 kor och samrötning krävs även ett fjärde flöde med varmvatten för att värma det ingående substratet.



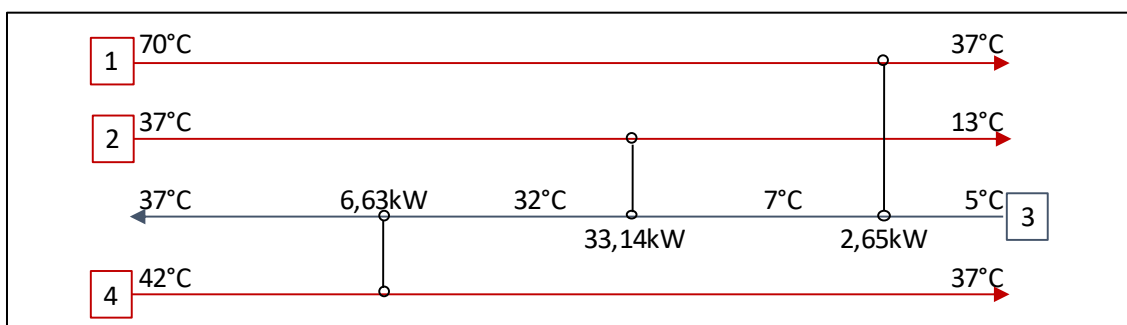
Figur 10 Pinchanalys för värmeväxling av rötrest mot ingående substrat för 80 kor.



Figur 11 Pinchanalys för värmeväxling av rötrest mot ingående substrat för 200 kor.



Figur 12 Pinchanalys för värmeväxling av rötrest och hygieniserat substrat mot ingående substrat för 80 kor.



Figur 13 Pinchanalys för värmeväxling av rötrest och hygieniserat substrat mot ingående substrat för 200 kor.