KUNSKAP FÖR LANDETS FRAMTID

Hushållnings sällskapet

Värmeutnyttjande på gårdsbaserade biogasanläggningar i Sverige

En studie inom projektet
Ökning av lantbruksbaserad biogasproduktion

Daniel Tamm och Henrik Olsson, RISE, 2021

Förord

Projektet Ökning av lantbruksbaserad biogasproduktion ägdes av Hushållningssällskapet Sjuhärad och utfördes i nära samarbete med bland andra Hushållningssällskapet Halland, RISE, och ett 40-tal biogasanläggningar över hela Sverige. Projektets främsta syfte var att tekniskt utveckla den svenska lantbruksbaserade biogasproduktionen för att den ska bli mer lönsam och uppnå största möjliga klimatnytta. Projektet pågick mellan 2018 och 2021.

Inom projektet genomfördes aktiviteter som syftar till att dels skapa mer kunskap, dels sprida den kunskapen till biogasanläggningarna. Fokusområden har varit klimatberäkningar, lagringsförhållanden, ekonomi på anläggningarna, metanläckageundersökningar, värmeutnyttjande, utrötningsförsök, och rådgivningsbesök.

I den här delrapporten beskrivs och sammanfattas resultaten från värmestudien. Arbetet bygger vidare på tidigare projekt, och behovet av mer utveckling på området är tydlig. Det finns många bra exempel att inspireras av och rapporten har som syfte att tillsammans med de goda exemplen ge tydliga råd till biogasanläggningsägare.

Projektet finansierades av Jordbruksverket via EU-medel. Vi vill härmed tacka alla som bidragit till studiens genomförande. Speciellt tack till ägarna till de studerade anläggningarna.

Länghem, oktober 2021

Daniel Tamm och Henrik Olsson, huvudförfattare

Cecilia Hermansson, projektledare

Sammanfattning

Flertalet lantbruksbaserade biogasanläggningar har problem och utmaningar relaterade till värmeanvändningen. Denna rapport belyser vanligt förekommande problem samt orsakerna och möjliga lösningar till dem. Studien bygger på uppgifter från en tidigare energistudie från 2014, enkätuppgifter från biogasrådgivarna i projektet samt fallstudier inklusive platsbesök på utvalda biogasanläggningar.

Främsta utmaningen är att bygga ett effektivt värmesystem där värmen räcker till på vintern, gärna även till grannhusen i ett närvärmesystem, något som har begränsningar så länge bara gasen används för värmeproduktionen. Grundproblemet är att gasproduktionen är konstant året om, medan värmebehovet varierar över året, både för anläggningens egen uppvärmning och för eventuella externa förbrukare. Viss flexibilitet i värmeproduktionen fås genom att kombinera gasmotorn med en gaspanna. Med värmeåtervinning och förvärmning av substratet kan egenbehovet av värme till rötningen minskas drastiskt, vilket frigör värmeeffekt på vintern även om det också innebär att värme måste fläktas bort på sommaren. Redan enkla system såsom plaströr i förbrunnen kan frigöra värmeeffekt till andra tillämpningar. En högre värmeåtervinningsgrad uppnås med mer avancerade värmeväxlingssystem, men till en högre investeringskostnad. Att frigöra betydande mängder värme genom bättre isolering är däremot svårt eftersom värmeförlusterna ändå bara står för en liten del av anläggningens värmebehov. För större flexibilitet och även större leveranssäkerhet behöver systemet kompletteras med ytterligare en värmekälla. Värmepumpar kan vara ett intressant val eftersom de kan hämta restvärmen från rötrestens höga temperaturnivå vilket ger en hög verkningsgrad. Annars kan en fastbränslepanna användas för att hantera effekttopparna.

All form av värmeåtervinning innebär att rötresten kyls mer eller mindre. Detta leder ofta till utfällningar och avlagringar som regelbundet måste avlägsnas för att upprätthålla funktionen. Det finns olika lösningar för rengöringen varav några beskrivs i samband med fallstudierna. Val av metod beror på typ av värmeväxlare, typ av avlagring och gårdens förutsättningar att hantera kemikalier. Även frekvensen för rengöringen skiljer sig mycket mellan anläggningarna beroende på hur snabbt avlagringarna bildas.

Innehåll

1 Inledning 1

1.1 Bakgrund 1

1.2 Syfte och mål 2

1.3 Genomförande 2

2 Utmaningarna med värmesystemen 2

2.1 Biogasrådgivarnas iakttagelser om vanliga problem med värmesystemet 2

2.2 Lärdomar från energienkäten 2014 3

2.3 Köldbryggor 6

3 Fallstudier från utvalda gårdar 9

3.1 Värmeslinga i blandningsbrunn på Högryds gård 9

3.2 Spiralvärmeväxlare på Kvarngården 11

3.3 Värmepumpar och gaspanna på Sylves lantbruk 13

3.4 Termofil rötning med värmepump vid Gajan biogas 16

3.5 Närvärme på Haxäng 17

3.6 Värmeåtervinning i flera steg på Vårgårda Herrljunga Biogas 19

3.7 Jämförelse 21

4 Teknik- och systemlösningar 22

4.1 Att få värmen att räcka till på vintern 22

4.2 Värmeåtervinning och värmeväxling 24

4.3 Värmepumpar 25

4.4 Gasmotorer 26

4.5 Räkneexempel och prisuppskattningar 27

5 Slutsatser och råd 29

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Projektet *Ökning av lantbruksbaserad biogasproduktion* kom till för att fortsätta att utveckla den svenska biogasproduktionen. Det finns stor potential att framställa energi med låg klimatpåverkan från jordbrukssektorn, men det kräver både mer kunskap och att den kunskap som finns förmedlas till de som har användning av dem. Det krävs en fortsatt teknikutveckling och ofta ett stort engagemang, men vinsterna med att göra rätt blir även de stora. Ett av de områden som ofta kan förbättras för att leda till en effektivare biogasproduktion och en bättre ekonomi är värmesystemet.

För biogasanläggningar är värmesystemet en viktig funktion då det skapar förutsättningar för att hålla rätt och konstant rötningstemperatur i biogasanläggningen. Värmebehovet kan samtidigt stå för en stor del av driftkostnaden. Det har visat sig att det är en utmaning att bygga ett värmesystem som är kostnadseffektivt, lätt att underhålla och som levererar rätt mängd värme vid rätt tidpunkt. Många anläggningar upplever praktiska problem med att få balans mellan värmeproduktion och -förbrukning, inte minst när det gäller att hantera variationer mellan sommar och vinter, och svårigheter att återvinna värme för att minska primärvärmebehovet (dvs nettovärmen som tillförs anläggningen). Under 2014 användes inte 29 % av den producerade energin (främst värme), vilket kan bero på avsaknad av värmeförbrukare på sommaren, men också på svårigheter att distribuera värmen till förbrukaren på vintern.[1] I förlängningen kan det innebära försämrad ekonomi och ibland även problem för gasproduktionen.

Samtidigt finns det många olika lösningar på värmesystemet på svenska biogasanläggningar, och många av dessa kan tjäna som goda exempel som andra anläggningar med förbättringspotential kan lära sig av. En energienkät som har genomförts 2014[2] innehåller en del uppgifter som är intressanta i frågeställningen och som kan utvärderas ytterligare. Den har kompletterats med en ny enkät till biogasrådgivarna inom projektet *Ökning av lantbruksbaserad biogasproduktion* där rådgivarna fick bidra med iakttagelser relaterade till värmesystemen.

---

[1] Lars-Erik Jansson: Ekonomisk utvärdering av biogasproduktion på gårdsnivå. Hushållningssällskapets förbund 2014, https://hushallningssallskapet.se/wp-content/uploads/2021/04/ekonomisk-utvardering-av-biogasanlaggningar-pa-gardsniva.pdf

[2] David Hårsmar: Energianvändning på Gårdsbiogasanläggningar – Rapport i projektet ”Utvärdering av biogasanläggningar på gårdsnivå”. Hushållningssällskapens Förbund 2014

1.2 Syfte och mål

Syftet med denna fördjupningsstudie är att förbättra driften och ekonomin på svenska biogasanläggningar genom minskning av kostnader och underhållsbehovet för uppvärmningssystemet.

Studien ska visa på goda exempel på svenska lantbruksanläggningar, lyfta fram områden med vanliga problem och förbättringspotential och bidra till att finna förbättringar för de anläggningar som deltar i projektet samt bidra till en kunskapsbas för framtida anläggningar. Studien ska undersöka hur väl företagen i praktiken utnyttjar värmen för internt och externt behov samt vilka olika tekniska lösningar som finns för att uppnå en hög utnyttjandegrad av värmen. Genom att kvantifiera värmeflöden ges stöd i prioriteringen av olika förbättringsåtgärder.

1.3 Genomförande

Första steget i studien var att inhämta befintlig bakgrundsinformation. Detta gjordes dels genom att kontakta biogasrådgivarna för att ta del av deras erfarenheter, dels genom att göra en djupgranskning av data som fanns från den tidigare värmestudien[2]. Resultaten från dessa arbetssteg redovisas i kapitel 2.

Utifrån detta material samt egna erfarenheter och litteraturstudier har ett antal anläggningar valts ut för fallstudier och rådgivning. Fallstudierna beskrivs i kapitel 3.

Slutligen ges i kapitel 4 en genomgång av några tekniker och metoder som kan hjälpa till att hantera de vanligaste utmaningarna som identifierats i samband med gårdarnas värmesystem.

2 Utmaningarna med värmesystemen

Här diskuteras uppgifter om anläggningarnas utmaningar med värmesystemen baserat på tidigare undersökningar och erfarenheter från biogasrådgivarna i projektet. Kapitlet avslutas med en genomgång av isoleringens och köldbryggors betydelse.

2.1 Biogasrådgivarnas iakttagelser om vanliga problem med värmesystemet

En enkät genomfördes under 2020 där biogasrådgivarna i projektet fick frågan om sina erfarenheter avseende anläggningarnas värmesystem. Några av de vanligast förekommande iakttagelser som har rapporterats är:

- Anläggningar som använder gasen för uppvärmning och/eller elproduktion står alltid inför utmaningen att matcha tillgång och behov. På sommaren blir det ett överskott av värme som är svårt att hitta användning för. På vintern när det skulle vara intressant att sälja värme räcker värmen ofta bara till det interna behovet (biogasanläggningens uppvärmning).

- Tack vare en enkel teknik och ett lätthanterat bränsle är driften av gaspannor oftast problemfri, framförallt om gasen torkas innan.
- Många anläggningar har ingen värmeåtervinning från biogödseln, eller prestandan i värmeåtervinningen är låg. Det kan vara ett medvetet val på de anläggningar som genom sina gasmotorer har ett värmeöverskott samt dåliga förutsättningar för annan värmeanvändning. Men ofta beror en låg värmeåtervinningsgrad också på att värmeväxlingssystemet är underdimensionerat så att temperaturskillnaden mellan varma och kalla sidan är för liten, och/eller att värmeväxlingsytan är för liten.
- En del anläggningar, framförallt i norra Sverige, har ett onödigt stort värmebehov, vilket även syns i resultaten från energienkäten 2014 (figur 3 på sida 6). Orsaken till det höga värmebehovet är ofta oklar.
- Rörvärmeväxlare med stor yta samt spiralvärmeväxlare fungerar bra för värmeåtervinningen från biogödseln.
- Enkla värmeslingor i för- och efterbrunnar, ofta i plast (PE), är billigare alternativ till värmeväxlare som ofta är byggda i rostfri plåt, men ger oftare låg prestanda eftersom plasten är en dålig värmeledare, kontaktytan är för liten och/eller omblandningen är otillräcklig för att föra bort värmen från rörytan.
- På många anläggningar saknas det en systematisk uppföljning av energiflödet. Framförallt vid egen förbrukning är det ovanligt med mätning av värmemängderna överhuvudtaget. Det gör det svårt att hitta orsaken till ett förhöjt värmebehov.
- Det är ibland svårt att få rätt balans och konfiguration i värmesystemet. Om gasmotorn placeras i systemet så att temperaturen på inkommande kylvatten blir för hög så startar nödkylaren för ofta och slösar bort värme som egentligen skulle behövts på andra ställen i systemet. Om gasmotorn matas med ett för lågt kylvattenflöde med avseende på returtemperaturen så begränsas motoreffekten för att inte överhetta kylvattnet. På vissa anläggningar begränsas temperaturen i värmesystemet av att värmerör har byggts i PE.
- Anläggningar som saknar avgasvärmeväxlare har svårt att få ut tillräckligt mycket värme och på en tillräckligt hög temperatur.

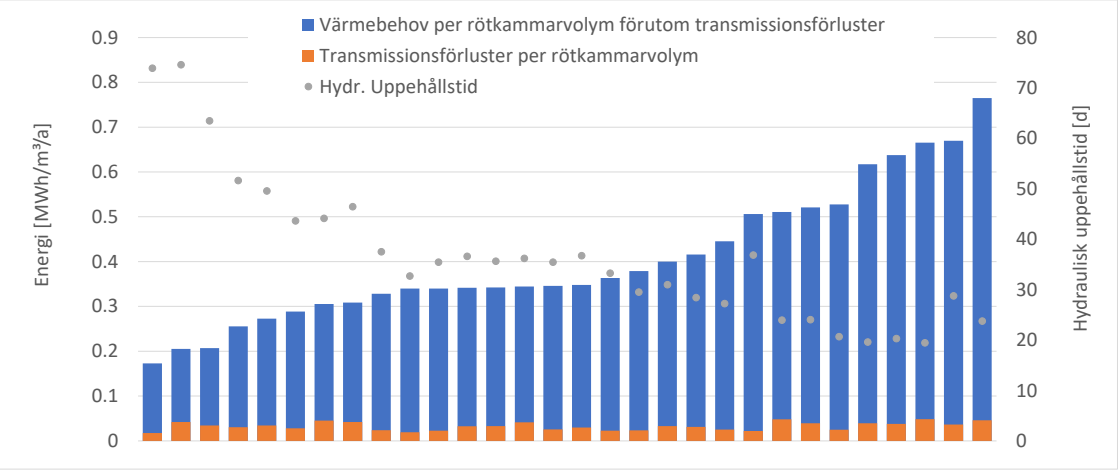
I denna studie har vi valt att i huvudsak fokusera på aspekter som har med bristande värmeeffekt att göra – att matcha värmebehovet med värmetillgången, minska effektbehovet och öka effekttillgången.

2.2 Lärdomar från energienkäten 2014

Energienkäten från 2014[2] har gåtts igenom och analyserats med avseende på gårdarnas värmebalans och vanligt förekommande problem kopplade till värmesystemet. I rapporten till energienkäten presenteras nyckeltal för energianvändningen hos ett 30-tal biogasanläggningar. Här ingår även siffror kring anläggningarnas energibehov. Genom att plotta data på olika sätt kan vi dra några viktiga allmänna slutsatser om värmebehovet på vanliga biogasanläggningar.

Figur 1 visar det teoretiska värmebehovet på anläggningarna uppdelat på värmen som går förlorad genom transmission (dvs genom rötkammarväggar, köldbryggor, dåligt isolerade rörledningar mm) och resterande primärvärmebehov (dvs för uppvärmning av substratet).

Transmissionsförlusterna är de förluster som går att påverka genom bättre isolering. Det övriga värmebehovet går att påverka genom bättre värmeåtervinning. Dessutom påverkar valet av processparametrarna (främst temperaturen) båda delar. Transmissionsförlusterna har beräknats teoretiskt utifrån mantelarea och rötkammartemperatur, med antagande av ett u-värde på 0,166 W/m²K motsvarande 24 cm mineralull.



Figur 1: Totala värmebehovet och andelen transmissionsförluster enligt energienkäten från 2014

Diagrammet visar att andelen värme på grund av transmissionsförluster bara utgör en liten del av det totala värmebehovet, runt 5–20 %. Det får dock poängteras att siffrorna bara är beräknade värden för välisolerade rötkammare och utan hänsyn till spillvärme från köldbryggor och rörledningar. Transmissionsförlusternas verkliga andel av värmebehovet är därmed något högre än vad figuren visar. Ändå går ofta runt 90 % av energin åt för uppvärmningen av substratet.

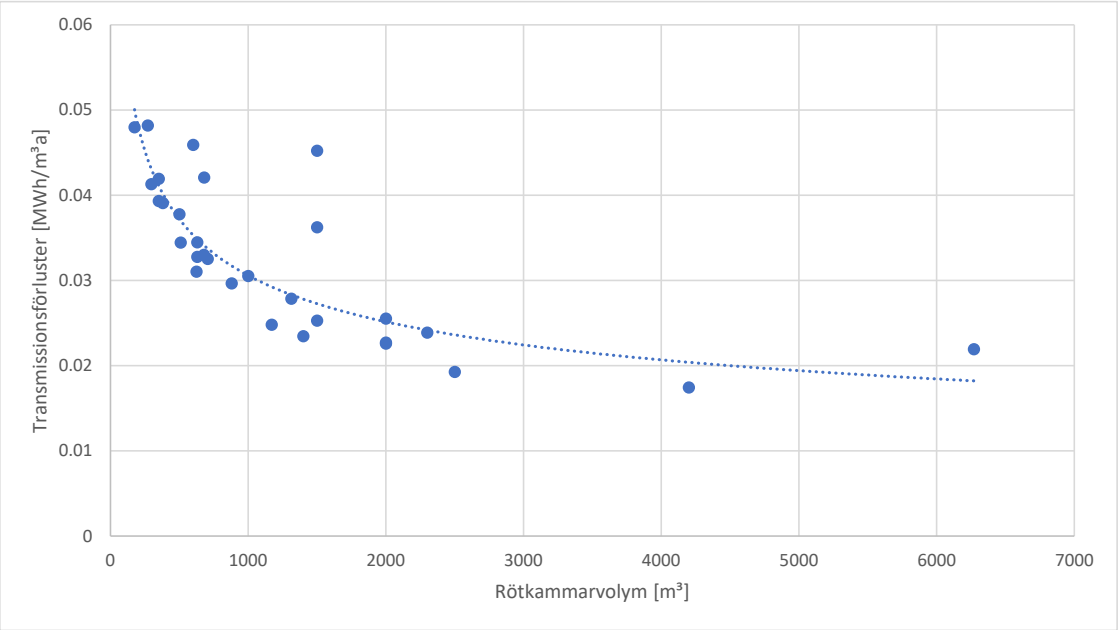
Bara 10–20 % av värmebehovet kan påverkas genom bättre isolering. 80–90 % av energin går åt för uppvärmningen.

Figur 1 visar även den hydrauliska uppehållstiden som små grå prickar. Det syns en tydlig trend till att anläggningar med en lång uppehållstid har ett lägre värmebehov per rötkammarvolym (blåa staplar), medan storleken på de röda staplarna (transmissionsförlusterna) är oberoende av uppehållstiden utan har med isolering och tankstorlek att göra. Det innebär att andelen transmissionsförluster av hela energibehovet är desto större ju längre uppehållstiden är. Med andra ord går det åt en större andel av energin för att kompensera för värmestrålningen och hålla värmen i rötkammaren på en anläggning med lång uppehållstid (motsvarande ett lågt substratflöde in i rötkammaren).

Uppvärmningsbehovet motsvarar enligt enkäten från 2014 mellan 5 och 38 % av gasens energiinnehåll (medel 24 %). Att variationen är stor förklaras med substratens olika biogaspotential. Värmebehovet kan alltså utgöra en stor del av den producerade energin. Med årsvariationerna blir denna andel ännu större på vinterhalvåret. För anläggningar som producerar fordonsgas är det därför inget alternativ att använda den dyrbara gasen till uppvärmning. Även för anläggningar med kraftvärmeproduktion där spillvärmen från gasmotorn utgör

Anläggningar med energirika substrat (hög TS-halt) har ett lägre egenbehov av energi.

omkring 40 % av gasens energiinnehåll kan det betyda att större delen av värmen går åt för att värma rötningsprocessen på vintern.

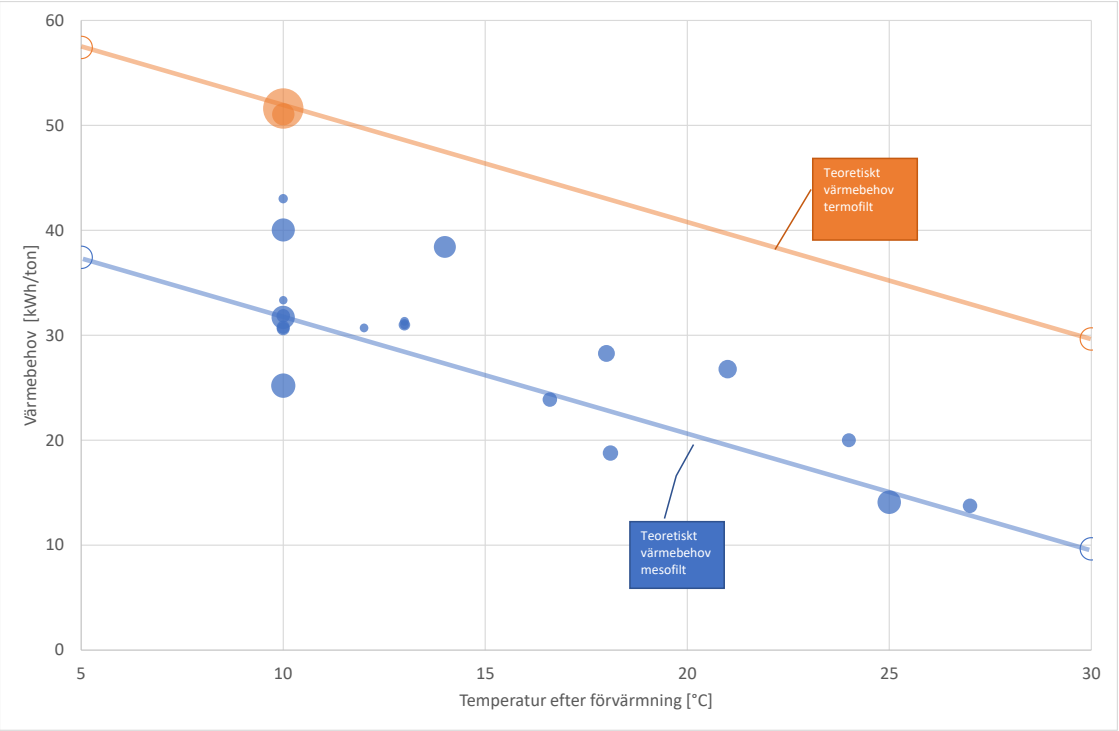


Figur 2: Beräknade transmissionsförluster som funktion av rötkammarvolymen. Att prickarna inte hamnar på en linje beror dels på olika geometri och rötningstemperatur, och dels på att rötkammarvolymen på några anläggningar är en sammanslagning av flera tankar.

Ett annat sätt att titta på uppgifterna från energienkäten är att relatera rötkammarstorleken till värmen som tappas till omgivningen (transmissionsförlusterna). Detta visas i figur 2 som tydliggör att den andra stora faktorn som påverkar transmissionsförlusterna, förutom belastningen/uppehållstiden, är anläggningens storlek. På små anläggningar kan dessa förluster utgöra en dubbelt så hög andel av hela energibehovet som på större anläggningar. Det beror på att en liten tank har en större specifik yta (dvs m² yta per m³ volym) än en större tank med samma höjd/bredd-förhållande, samtidigt som uppvärmningsbehovet per ton substrat är detsamma.

Små anläggningar med låg belastning påverkas mest av dålig isolering.

Slutligen visar figur 3 värmebehovet per ton substrat för de gårdar som ingick i studien 2014, samt temperaturen i inkommande material som uppnås genom värmeväxling. Också inritad är två linjer som visar det teoretiska värmebehovet för att värma upp substratet från respektive förvärmningstemperatur till mesofil respektive termofil rötningstemperatur. Figuren åskådliggör hur mycket värmebehovet kan påverkas genom en bättre värmeåtervinning. Att förflytta sig på en av linjerna från vänster till höger motsvarar en mer effektiv värmeåtervinning. En mesofil anläggning utan värmeåtervinning kan t.ex. halvera sitt värmebehov genom att installera värmeåtervinning där inkommande material värms till 25 °C. Och en termofil anläggning med bra värmeåtervinning, där inkommande substrat förvärms till 30 °C genom värmeväxling med rötresten, kan ha ett lägre värmebehov än en mesofil anläggning utan värmeåtervinning.



Figur 3: Värmebehov för uppvärmning och transmissionsförluster som funktion av temperaturen i blandningsbrunn (enligt ojusterade enkätsvar från 2014 för värmemängd och substratmängd). De röda prickarna är anläggningar som körs termofilt, övriga körs mesofilt. Storleken på prickarna motsvarar anläggningens storlek (ton substrat per år).

Att några anläggningar i figur 3 ligger en bra bit ovanför sin respektive linje visar på ett onormalt högt värmebehov som kan ha olika orsaker som inte har belysts närmare, inklusive att uppgifterna i enkäten var felaktiga eller feltolkade. Under åren som har gått har även vissa anläggningar som ingick i enkäten byggt om sina värmesystem och minskat sitt värmebehov.

2.3 Köldbryggor

En köldbrygga uppstår när det på en isolerad anläggning finns lokala ställen som är sämre eller inte alls isolerade. Exempel är rörgenomföringar och infästningar, men även ställen med skadad eller avlägsnad isolering.

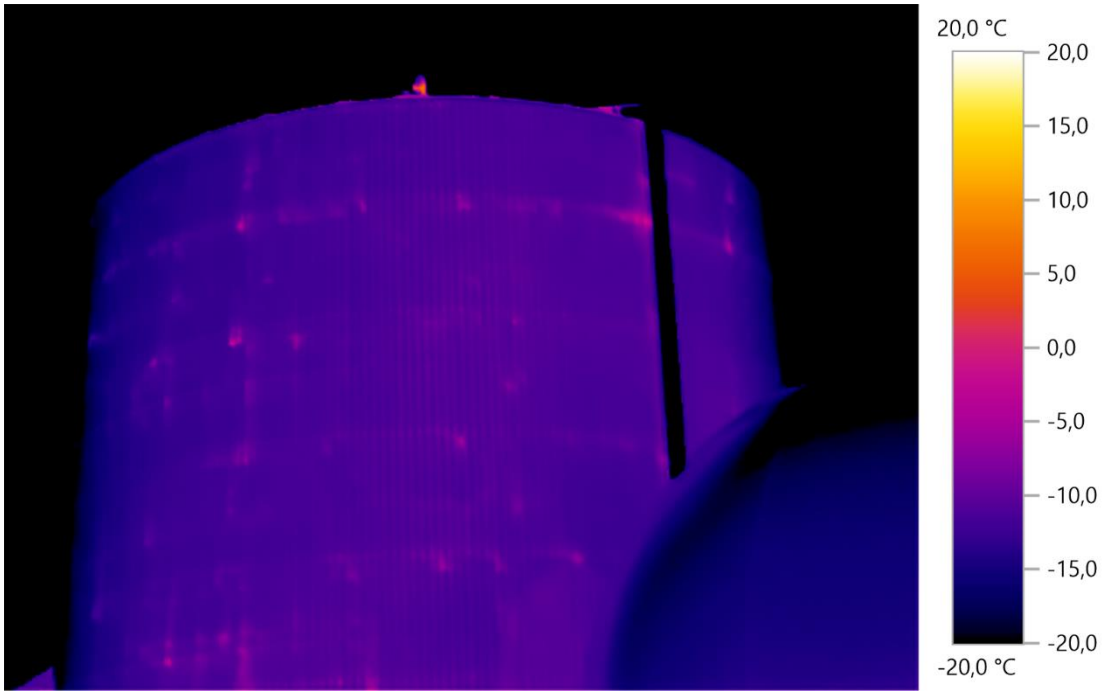


Bild 1: Värmebild på en välisolerad stor termofil rötkammare på vintern. Nästan hela ytan har samma temperatur runt −11 °C (blått), och även de varmaste ställena är inte varmare än −5 °C (rosa).

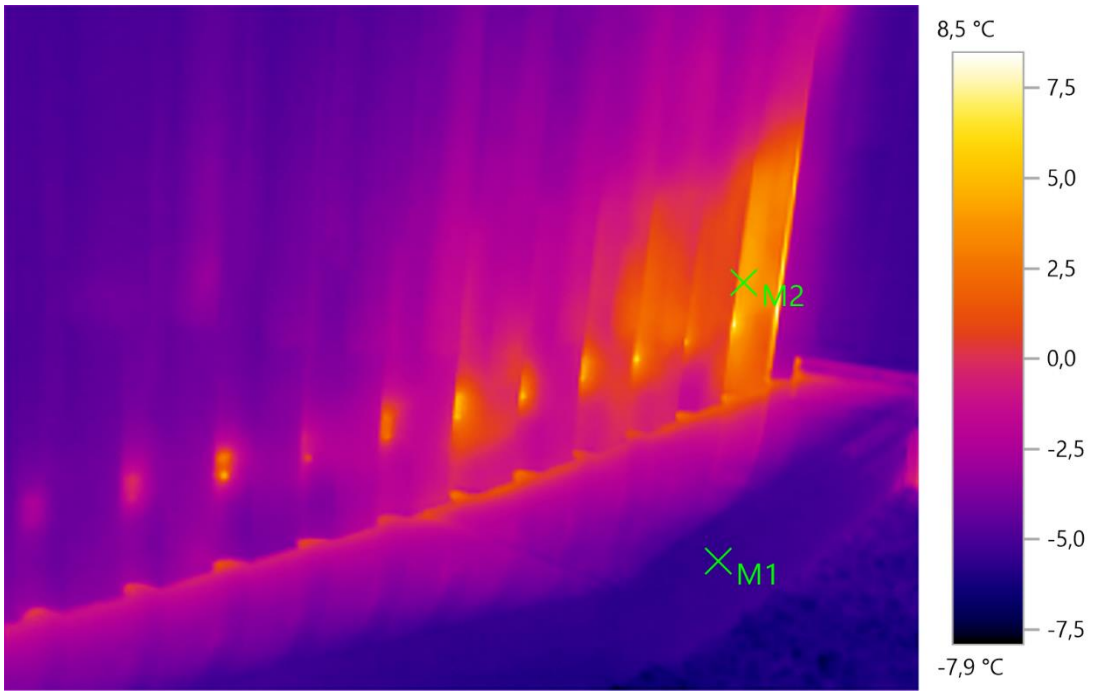


Bild 2: Sockeldetalj på samma rötkammare. Skruvarna i plåtfasaden är något varmare än resten av fasaden. Vid underkanten av plåtfasaden är det också aningen varmare. Betongsockeln (M1) är välisolerad mot rötkammarinnehållet. I hörnet mot teknikhuset (M2) är dock yttemperaturen högre vilket kan bero på skyddat läge och/eller något sämre isolering.

För att upptäcka köldbryggor kan en värmekamera användas, såsom har gjorts för bilderna i detta kapitel som har tagits vid gårdsbesöken. På värmebilderna ersätts de vanliga färgerna med

en färgskala som visar temperaturen på ytan. Bäst resultat fås på en kall, lugn, molnig dag under vinterhalvåret. Vid solsken överlagras värmeläckaget från köldbryggor med värmen från solen som på bild 3. Vind gör också att temperaturskillnaderna minskar och att det blir svårare att upptäcka värmeläckor. Blanka metallytor (t.ex. rostfria rör eller tankar) är svåra att mäta med värmekamera eftersom de fungerar som en spegel.

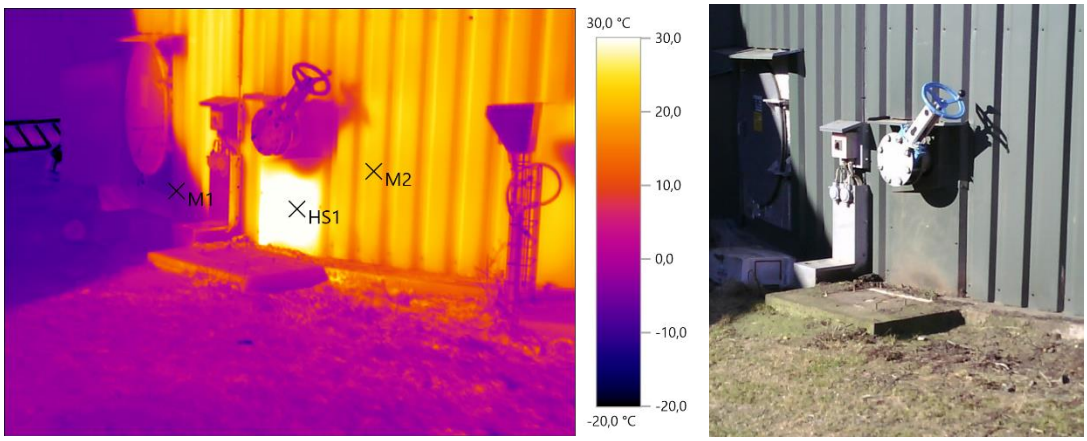


Bild 3: Oisolerad lucka i solen. I skuggan har fasaden en temperatur på −5 °C (M1), i solen 22 °C (M2). Luckan däremot har en temperatur på 35 °C (HS1).

Köldbryggor kan öka värmeförlusterna i anläggningen markant. Om t.ex. en mesofil rötkammare[3] på något ställe saknar isolering ökar värmeförlusten på den oisolerade ytan från cirka 12 till 300 W/m² vid sydsvenskt klimat. En manlucka med en diameter på 80 cm har en yta på 0,5 m², och om den är oisolerad så ökar rötkammarens värmebehov med 1,3 MWh/år, motsvarande en kostnad på minst 500–1000 kr/år, förutsatt att värmen annars skulle kunna komma till användning. Vid termofil rötning blir den årliga värmeförlusten för samma manlucka 2 MWh/år.

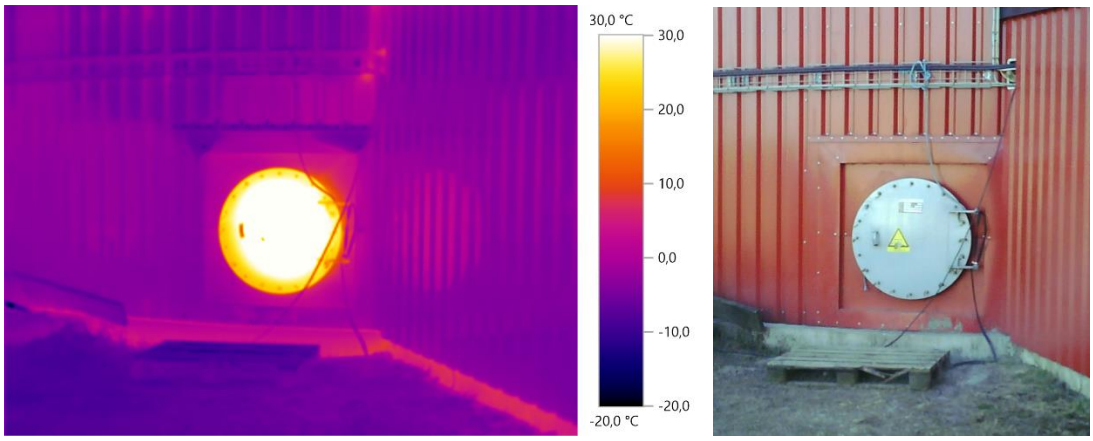


Bild 4: En oisolerad manlucka. Luckan har en yttemperatur på 37 °C (samma som rötkammarinnehållet), medan resten av fasaden ligger på −3 °C.

[3] Plåtväggar, 100 mm isolering, 6 m höjd, 10 m diameter

Dessa värmeförluster kan ställas i relation till an vanlig mesofil anläggnings årliga värmebehov som ligger på ca 0,4 MWh per m³ rötkammarvolym (se figur 1). En oisolerad manlucka orsakar därmed värmeförluster på omkring 0,5–1 % av anläggningens värmebehov. För att kompensera för värmeförlusten måste substratet värmas upp 0,15–0,2 °C mer än utan köldbryggan.

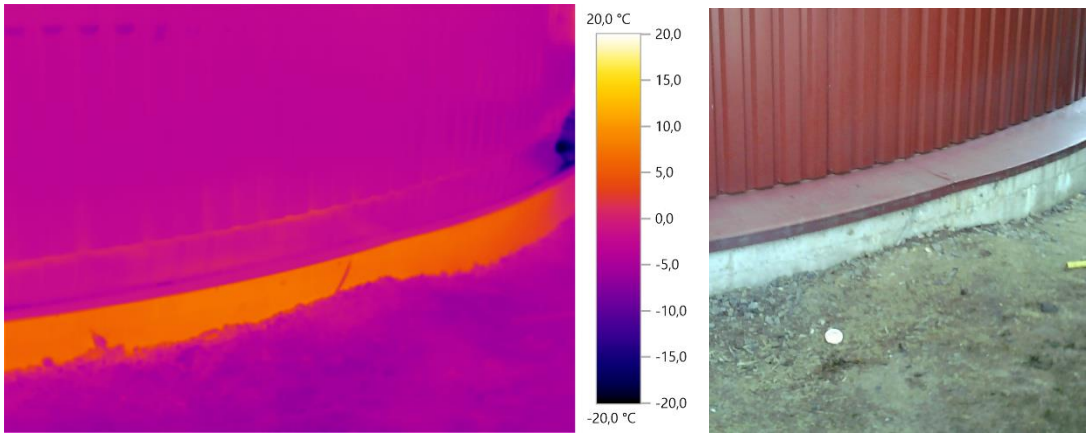


Bild 5: Rötkammarsockel med mindre bra isolering. Betongsockeln har en yttemperatur som ligger 10 °C högre än plåtfasaden.

3 Fallstudier från utvalda gårdar

Nedan presenteras fallstudier för sex utvalda gårdars värmesystem. Syftet med fallstudierna är att visa upp och åskådliggöra praktiska lösningar med för- och nackdelar och belysa konkreta problem i drift och underhåll. Urvalet av gårdarna har gjorts utifrån att få en bredd av olika tekniklösningar under olika lokala förutsättningar, geografiskt läge, rötningstemperatur mm.

Fallstudierna har inletts med telefon- och mejlkontakt med gårdarna samt en frågelista som gårdens personal har fyllt i efter bästa förmåga. Frågelistan handlade om substratmängder, rötningens driftparametrar, hur värmesystemet är uppbyggt, hur värmeaffären ser ut och vilka drifterfarenheter som finns. I ett uppföljande videosamtal har sedan värmesystemet skissats upp, frågelistan gåtts igenom och svaren kompletterats. Slutligen har vi gjort platsbesök (förutom hos Vårgårda Herrljunga biogas) för att räta ut fler frågor och göra kompletterande mätningar av värmeflöden och temperaturer. På några av anläggningarna har även en IR-kamera (värmebildkamera) använts för att synliggöra värmeläckage genom manluckor och andra köldbryggor. Dessa bilder finns med i kapitel 2.3.

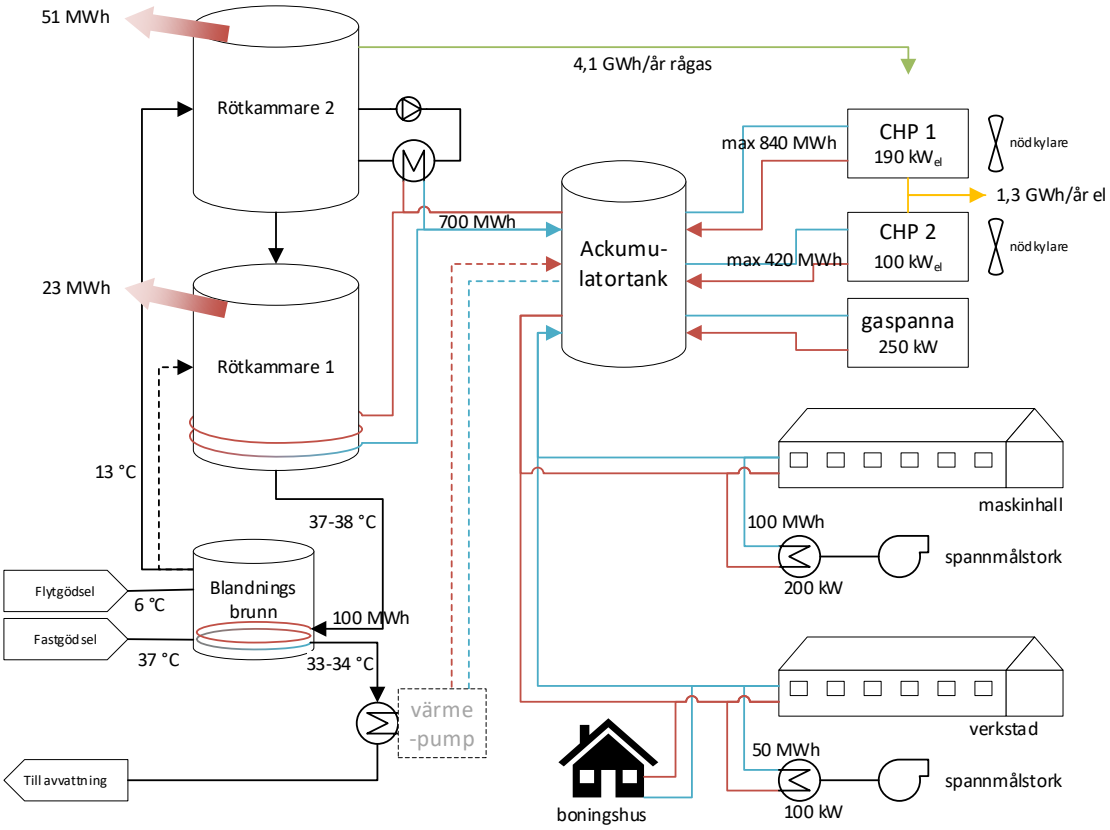
Utifrån informationen har värmesystemen ritats upp och värmebalanser upprättats för alla gårdar för att ta reda på var, och hur effektivt, värmen används i systemet.

3.1 Värmeslinga i blandningsbrunn på Högryds gård

Högryds gård utanför Falkenberg bedriver en mesofil biogasanläggning med två rötkammare. Biogasen används i huvudsak i två gasmotorer vars spillvärme går till uppvärmning av rötkammaren och gårdens olika byggnader. På sensommaren, i omkring 40 dagar per år,

används värmeöverskottet i två spannmålstorkar. En del värme fläktas bort i nödkylarna. Som backup till gasmotorerna finns en gaspanna.

En mindre del av värmebehovet i rötningen täcks genom att den utgående biogödseln passerar en ca 100 m lång PE-slang som ligger längs med väggen i blandningsbrunnen. Biogödseln pumpas genom slangen satsvis, där pumpen stannar ett tag så att innehållet i slingan hinner svalna innan det ersätts med en ny sats. Värmemätningar som har gjorts på slangen tyder på att omkring 1/8 av rötningens värmebehov täcks genom värmeåtervinningen.



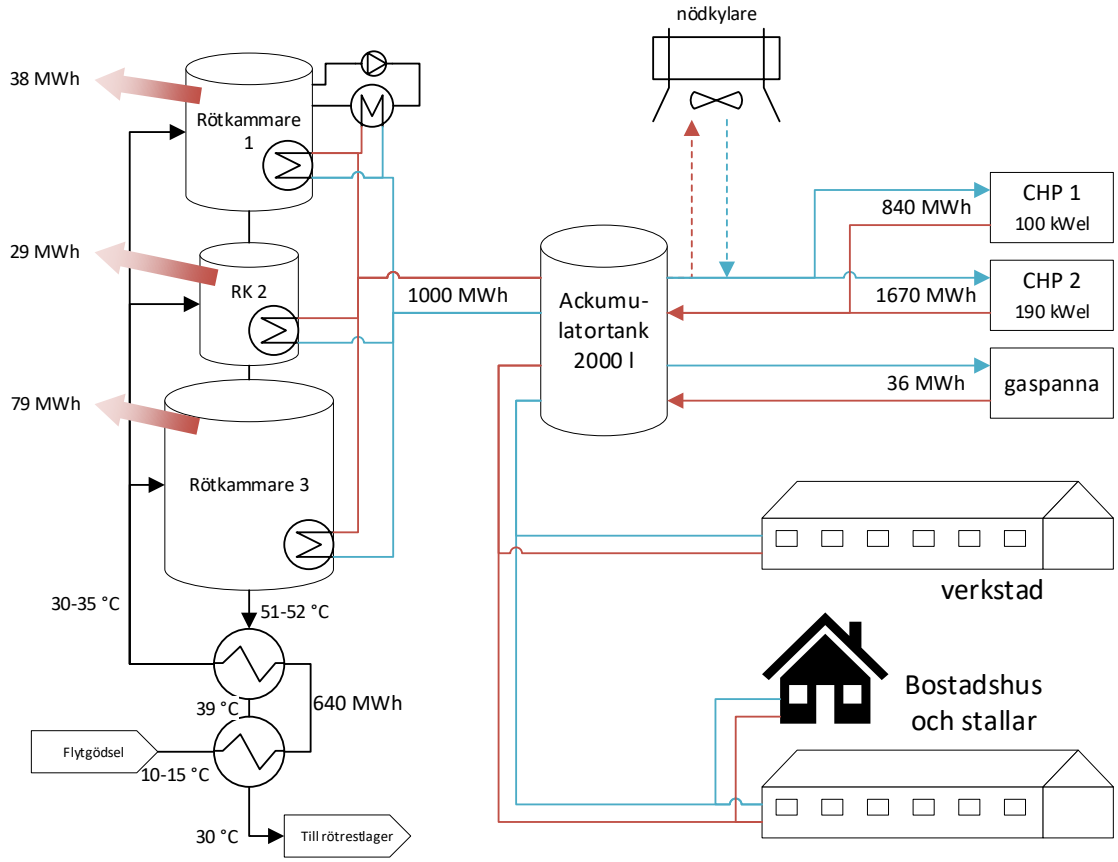
Figur 4: Värmesystemet på Högryds gård. De röda pilarna visar de beräknade värmeförlusterna för större tankar.

Det finns även en värmepump i utgående biogödselledningen som från början var tänkt att återvinna mera värme och ytterligare sänka biogödselns temperatur, något som var ett villkor i tidigare miljötillstånd. I och med att anläggningen dock normalt har ett värmeöverskott så är driften på värmepumpen ekonomiskt ointressant, så att värmepumpen har tagits ur drift nu när villkoret i tillståndet inte finns kvar.

I PE-slingan där biogödseln svalnar bildas det avlagringar som med tiden gör att slingan sätter igen. Det är dock en långsam process och inga tvättrutiner finns. Istället byts slingan ut vart 7:e år.

3.2 Spiralvärmeväxlare på Kvarngården

Kvarngården är en större gård utanför Falkenberg med en termofil biogasanläggning. Gasen förbränns i första hand i två gasmotorer med en eleffekt på 100 respektive 190 kW. Det finns även en gaspanna som backup. Värmen från motorerna tillförs en ackumulatortank och fördelas därifrån vidare till rötningen och flera byggnader. Om returvattnet till motorerna är för varmt fläktas överskottsvärmen bort i två nödkylare.



Figur 5: Värmesystemet på Kvarngården

Inkommande flytgödsel förvärms genom värmeväxling mot rötresten i två seriekopplade spiralvärmeväxlare, se bild 6 och bild 7. På så sätt lyfts temperaturen på flytgödseln med 20 °C, motsvarande en värmemängd på 640 MWh per år, mer än ⅓ av hela värmebehovet. Resterande värmebehov är knappt 900 MWh/år för att komma upp i rötningstemperatur och för att värma upp fasta substrat samt 150 MWh/år för värmestrålningen. Uppvärmningen av rötkammaren sker via rötkamrarnas värmeslingor.

Även om anläggningen har ett kraftigt värmeöverskott som fläktas bort, skulle rötkamrarna utan värmeväxlarna behöva ett kraftigare uppvärmningssystem (dvs en större värmeöverföringsyta) för att kunna tillföra den värme som behövs för den termofila processen. Värmeåtervinningen gör också att biogödselns temperatur sänks från drygt 50 °C till omkring 30 °C så att metanavgången från biogödsellagret minskar.

Driften av värmeväxlarna fungerar bra, men kräver visst underhåll. Sänkningen av temperaturen i den fosfor- och kväverika biogödseln leder till utfällning av struvit i

värmeväxlarna, så att de med tiden sätter igen vilket syns i tryckfallet. Därför tvättas värmeväxlarna 4 gånger om året, först med lut för att ta bort fettavlagringar, och sedan med saltsyra för upplösning av struvit. Tvättprocessen tar en arbetsdag och upplevs inte som betungande.

Bild 6: Spiralvärmeväxlare på Kvarngården. Här återvinns 640 MWh värme varje år.

Värmeväxlarna är av märket Sondex® från Danfoss [4]. Investeringen ligger på 300 kkr per värmeväxlare. Kringkostnader på 100 kkr tillkommer, samt i Kvarngårdens fall 300 kkr då pumparna behövde bytas ut för att klara det högre mottrycket.

[4] https://heatexchangers.danfoss.com/welded-heat-exchangers/sondex-spiral-heat-exchangers/

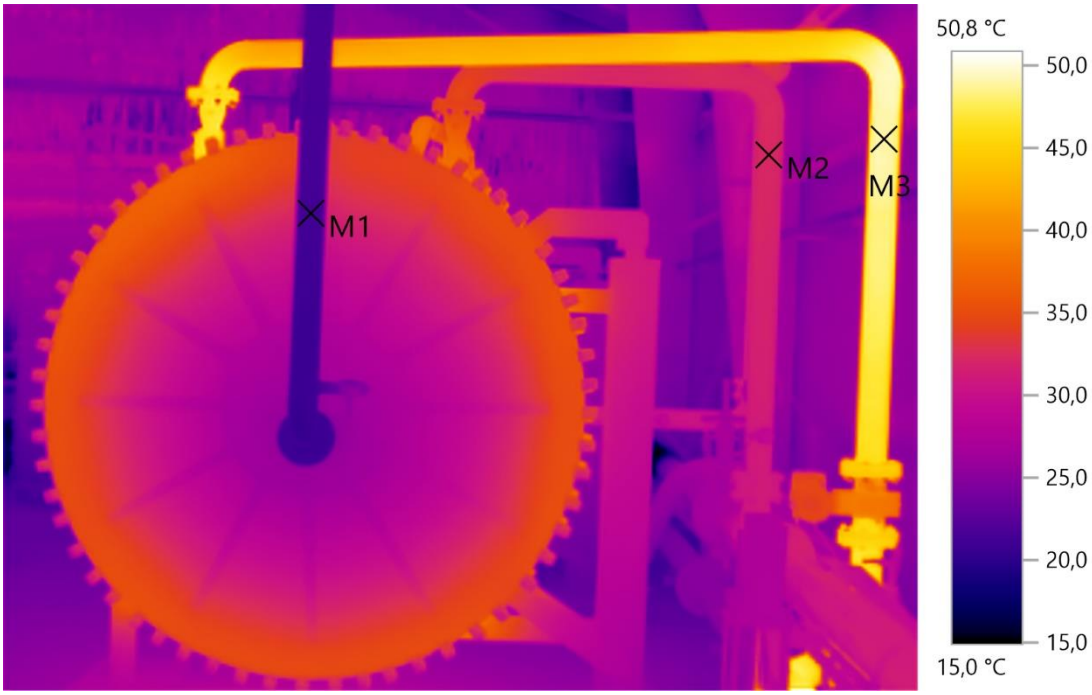
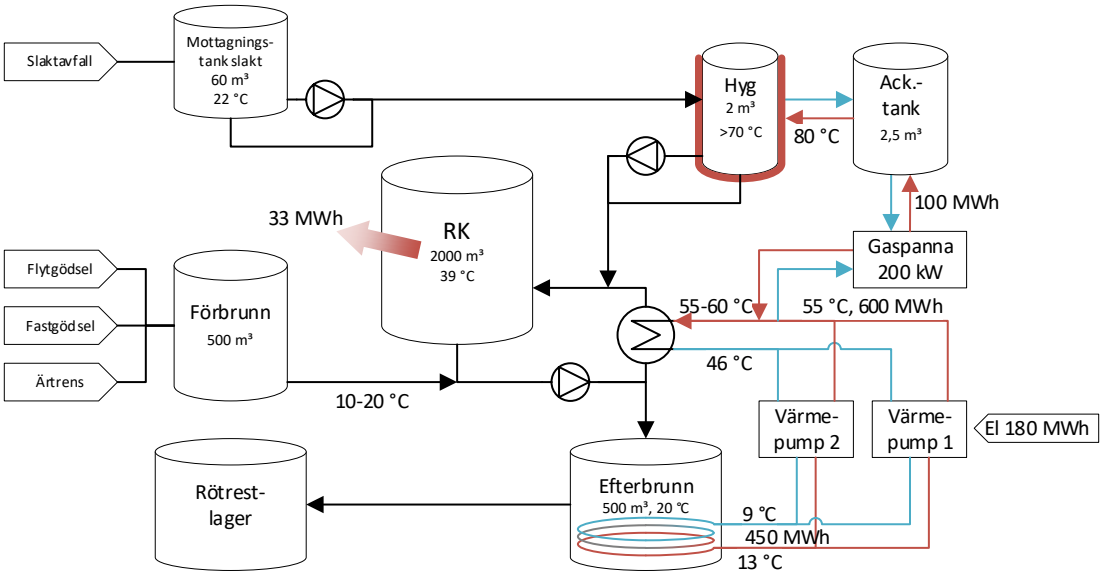


Bild 7: Värmebild på spiralvärmeväxlarna. M1 (inkommande flytgödsel mellan värmeväxlarna), M2 (förvärmd flytgödsel till rötning), M3 (biogödsel från rötkammare). På värmeväxlaren syns tydligt värmegradienten, där varmt media tillförs/tas ut på utsidan, och kallt media tillförs/tas ut i mitten.

3.3 Värmepumpar och gaspanna på Sylves lantbruk

Sylves lantbruks biogasanläggning är en del i biogasnätverket Biogas Brålanda. Tack vare sammankopplingen av anläggningarna kan biogasen gå till produktion av fordonsgas. Det innebär dock samtidigt att värmebehovet i anläggningarna i första hand behöver tillgodoses med annat än förbränning av biogas.



Figur 6: Värmesystemet på Sylves lantbruk.

På Sylves lantbruk rötas i huvudsak flyt- och fastgödsel, samt en mindre mängd slaktavfall och ärtrens. Uppvärmningen sker i första hand med hjälp av två värmepumpar som hämtar värmen från en efterbrunn där biogödseln svalnar av till ca 20 °C efter den mesofila rötningen. Värmeväxlingen i efterbrunnen görs med en rostfri ledning som går tre varv inne i nedre delen av efterbrunnen (se bild 8) och som är ansluten till värmepumpens kalla sida.

Bild 8: Efterbrunn med fördelare till kylslingan vid Sylves lantbruk.

Själva rötkammaren har ingen direkt uppvärmning, utan värmen tillförs via en värmeväxlare i en cirkulationsslinga. Vid behov (på vintern) kan värmen från värmepumparna spetsas med värme från en gaspanna upp till 60 °C. Gaspannan används dessutom i hygieniseringen för att värma slaktavfallet till 70 °C. Det gör att andelen värme från värmepumpen minskar med ökande mängd slaktavfall, vilket ökar kostnaderna i och med att värmen från värmepumpen är

billigare än från gaspannan då gasen annars skulle gå till fordonsgas. Därför finns det funderingar om att ersätta gaspannan med en halmpanna. När värmepumpen går mindre på grund av ökad mängd slaktavfall minskar även kyleffekten på biogödseln som är reglerad via ett villkor i miljötillståndet. Detta begränsar just nu möjligheterna att ta in mera slaktavfall.

Samma pump som sköter cirkulationen av rötkammarinnehåll över värmeväxlaren pumpar även ut materialet till efterbrunnen. Under utpumpningstiden (20 minuter varannan timme) passerar därför inget material genom värmeväxlaren vilket gör att värmepumpen behöver stoppas.

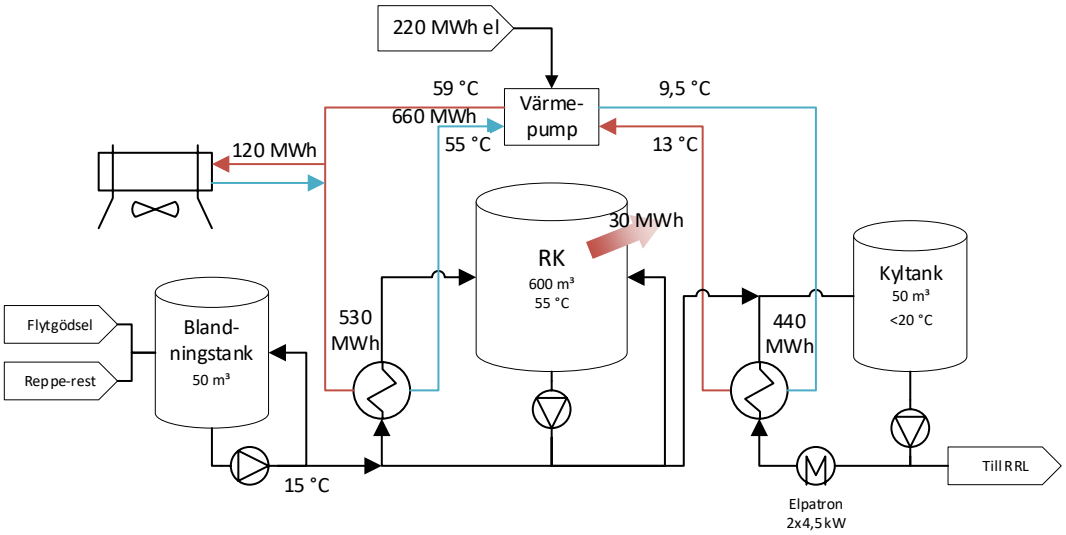
Värmeväxlaren består av två fyrkantsrör som är hopsvetsade i en spiral eller helix, se bild 9, och som togs över från Gasum i Linköping. Den kallas ibland även för spiralvärmeväxlare men ska inte förväxlas med den modell som Kvarngården har (bild 6). Flödet på varma sidan är högt för att hålla temperaturskillnaden låg mellan framledning och retur på varma sidan. På så sätt utnyttjas värmeväxlingskapaciteten maximalt. Att tillföra hela värmemängden genom en enda värmeväxlare gör värmesystemet relativt enkelt och kräver mindre mängd komponenter, men gör också att biogödselns värme inte kan utnyttjas för direkt värmeväxling mot inkommande material, utan all värmeenergi måste tillföras vid rötkammarens högre temperaturnivå.

Bild 9: Helixformad värmeväxlare med isolering på Sylves lantbruk (stor bild), samt värmeväxlare av liknande modell utan isolering på Scandinavian Biogas anläggning i Huddinge (liten bild till höger).

Det bildas avlagringar i värmeväxlaren som behöver tas bort vart 3:e år. Detta görs av en extern spolningsfirma. Det blir även glasliknande beläggningar på utsidan av rörslingan i efterbrunnen som går att knacka av med en gummihammare. Detta görs årligen inför vintern.

3.4 Termofil rötning med värmepump vid Gajan biogas

Gajan biogas är en av anläggningarna inom Biogas Brålanda och täcker hela värmebehovet till den termofila rötningen med en värmepump och en mindre elpatron. Alla tankar i systemet (blandningstank, rötkammare och kyltank) är utrustade med pumpomrörning, där omrörningspumparna även används för att pumpa materialet till nästa steg.



Figur 7: Värmesystemet på Gajan biogas

Värmepumpen hämtar värmen från kyltankens omrörningsslinga där det finns en vatten-slam-värmeväxlare, se bild 10. Den varma sidan av värmepumpen är ansluten till en liknande värmeväxlare som finns i rötkammarens cirkulationsslinga. Värmeväxlarna består av ett antal dubbelmantlade rör levererade av Elis Smide, där (bio)gödseln pumpas genom det inre röret (innerdiameter 100 mm) och vattnet i manteln (diameter 180 mm). Varje värmeväxlare har en total längd på 36 meter.

Bild 10: Rörvärmeväxlare hos Gajan.

Hos Gajan blir det mest avlagringar i den värmeväxlare där rötkammarinnehållet värms upp, medan det blir mindre avlagringar i den andra värmeväxlaren där biogödseln kyls ner. Avlagringarna är gipsliknande (se bild 11) och tas bort genom att öppna värmeväxlaren i gavlarna och spola den med högtryck.

Bild 11: Avlagring från värmeväxlare på Gajan biogas

Utmaningen i Gajans system är att hantera den aktuella värmebalansen, eftersom värmepumpen mest flyttar värmen från ena änden till den andra, men inte tillför så mycket nettovärme. På sommaren blir det ett mindre värmeöverskott när värmepumpen måste gå för att kyla biogödseln till 20 °C (på grund av ett villkor i tillståndet) trots att rötkammaren inte behöver mer värme. Överskottet fläktas bort med en frikylare som sitter i värmepumpens varma slinga.

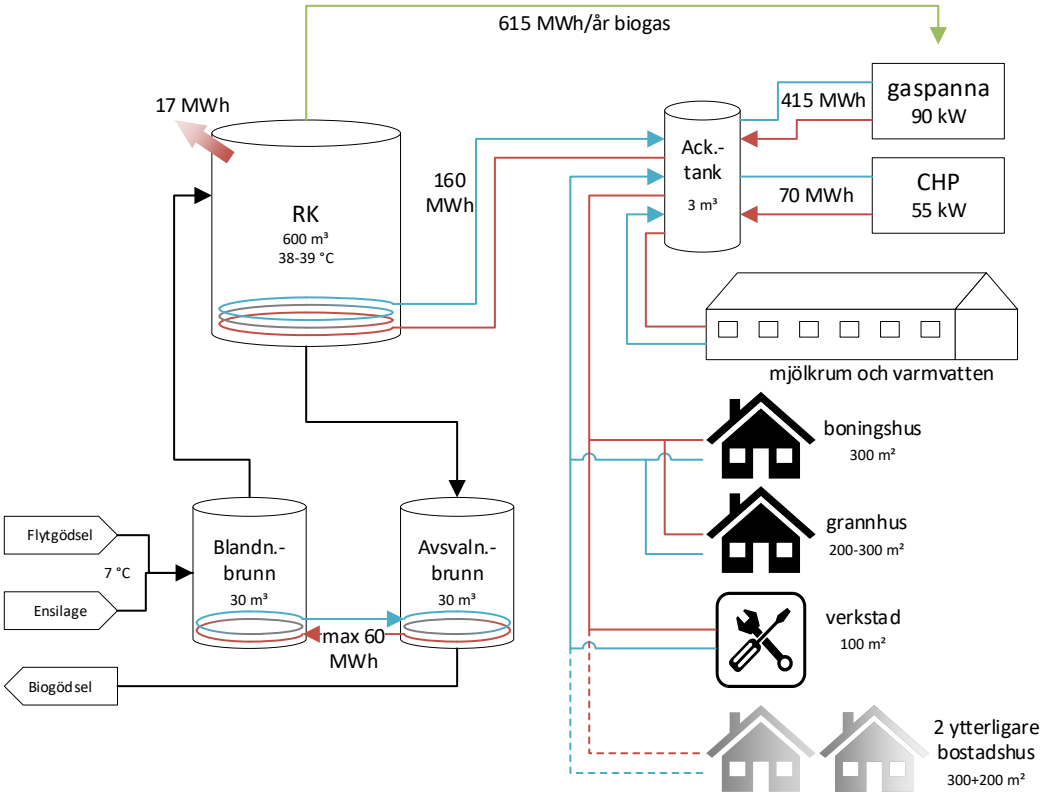
Värmeunderskott i systemet hanteras i första hand genom att sänka temperaturen i kyltanken lite mer än vad som krävs enligt miljötillståndet. Ytterligare värme kan tillföras med en elpatron på 2x4,5 kW som är placerad i kyltankens cirkulationsslinga, så att värmen växlas upp när den går genom värmepumpen.

Den största utmaningen är dock att starta upp rötningen från början, när ingen värme kan hämtas från biogödsel i kyltanken. Lösningen hittills har varit att hämta varm rötrest från en termofil anläggning, t.ex. Borås, eller varmvatten från slakteriet, och pumpa in det i kyltanken.

3.5 Närvärme på Haxäng

Haxäng nära Östersund har en liten gårdsanläggning där i huvudsak nötflytgödsel samt en mindre mängd ensilage rötas. Biogasen används till stor del i en gaspanna för att försörja rötningen och gården med värme. Även flera grannar är inkopplade via ett närvärmesystem. På

sommaren när värmebehovet är lägre används istället en gasmotor för att producera både el och värme.



Figur 8: Värmesystemet på Broströms lantbruk, Haxäng. De två ytterligare bostadshusen är idag bortkopplade från värmesystemet.

En viss mängd värme återvinns i och med att biogödseln passerar en avsvalningsbrunn som är utrustad med rörslingor (PE-slang) utmed tankens nedre halva. I röret cirkuleras vatten till blandningsbrunnen som också är utrustad med rörslingor, så att biogödseln svalnar av och inkommande flytgödsel värms upp. Här är det viktigt att nivån i brunnarna är lagom hög för att få optimal värmeöverföring. Det har vid platsbesök inte varit möjligt att göra mätningar på mängden överförd energi eftersom värmeslingan inte var igång, samt att skiktning i brunnarna försvårar temperaturmätningen. Värmeåtervinningen begränsas dock principiellt i och med att det behövs en drivande temperaturgradient i båda tankar, så att materialet i avsvalningsbrunnen (och därmed utgående biogödsel) alltid behöver vara minst ca 10 grader varmare än flytgödseln i blandningsbrunnen för att kunna överföra värme. Den återvinningsbara energimängden är därför *maximalt* ca ⅓ av rötkammarens totala energibehov vid mesofil rötning och den givna flytgödseltemperaturen.

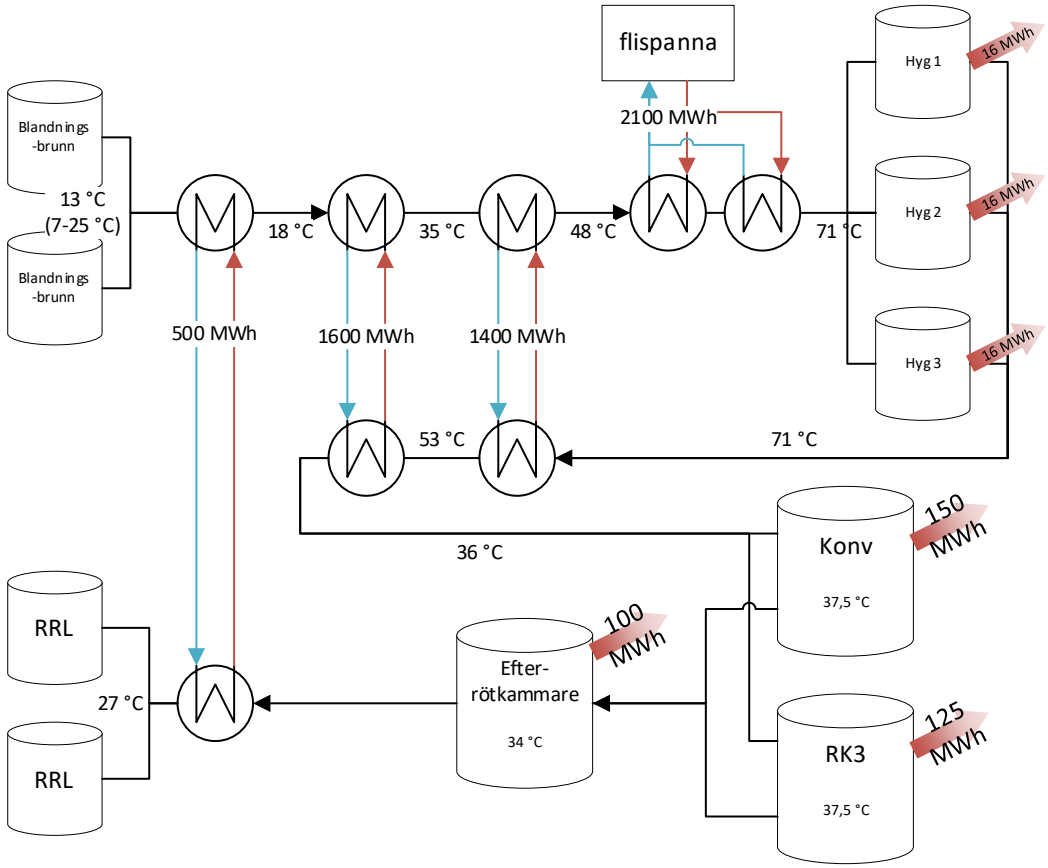
Även om värmeenergin som produceras över året överstiger årsbehovet är den stora utmaningen på Haxäng att få värmeeffekten att räcka till på vintern, trots att gasproduktionen är som högst på vintern när alla kor är inne. Gården har uppnått en del förbättringar genom att justera in flöden i de olika delarna av värmesystemet, vilket har gjort att mer värme kommer till användning, men bristen på tillgänglig värmeeffekt gör ändå att man har kopplat bort två närliggande bostadshus för att slippa elda olja i det egna boningshuset. Dessa två bostadshus värms nu istället med direktverkande el.

För att få värmeeffekten att räcka lite längre används rötkammaren även som energilager genom att höja temperaturen inför kalla dagar och på så sätt ta ut lite mindre effekt när det är som kallast. Strategin går dock tvärt emot behovet att hålla en konstant rötkammartemperatur för optimal utrötning. Just i Haxäng är den organiska belastningen på rötkammaren låg så att vissa temperatursvängningar är acceptabla. Vid en högre belastning skulle körsättet påverka gasproduktionen negativt och därmed leda till mindre effekttillgång.

Ett tänkbart sätt för att öka på effekttillgången på vintern och kunna försörja alla inkopplade bostäder är ett upplägg liknande Gajan eller Sylves (se ovan) där vattenkretsen mellan blandningsbrunn och avsvalningsbrunn kompletteras med en värmepump. Med den skulle värmeåtervinningen från utgående till inkommande material kunna ökas och i bästa fall helt ersätta primärvärmen till rötkammaren (som hos Gajan), så att mer värme blir tillgänglig till närvärmesystemet. Värmepumpens verkningsgrad blir hög då den hämtar värmen från biogödseln med en relativt hög temperatur jämfört med andra värmepumpsalternativ (luft-, jord- eller bergvärme). Det behöver dock utredas huruvida det skulle leda till en bra värmeaffär jämfört med dagens uppvärmning (direktverkande el i grannhusen). Andra tänkbara alternativ är att ta in energirika substrat på vintern eller att komplettera systemet med en fastbränslepanna, se vidare i kapitel 4.1.

3.6 Värmeåtervinning i flera steg på Vårgårda Herrljunga Biogas

Vårgårda Herrljunga (VH) biogas är en större samrötningsanläggning med mesofil rötning, där hela substratmängden hygieniseras vid 70 °C. För att minska energibehovet finns det ett avancerat system av värmeväxlare som står för mer än hälften av uppvärmningsbehovet till hygieniseringstemperatur, se figur 9. Resterande värme kommer från en flispanna. Biogasen används till att producera fordonsgas.



Figur 9: Schema för värmesystemet hos VH biogas.

Det bildas beläggningar och avlagringar i flera delar av systemet. Dels bränner inkommande material fast i sista värmeväxlaren före hygieniseringen på grund av den höga framledningstemperaturen på 92 °C. Det blir svarta flagor på insidan som dock inte sitter speciellt hårt fast. Rengöring av dessa görs varannan vecka när temperaturen på hetvattnet visar att värmeöverföringen har minskat. Denna sista värmeväxlare har också lite tjockare rör som underlättar rengöringen.

Bild 12: Värmeväxlare hos VH biogas, med vändkamrarna på gaveln

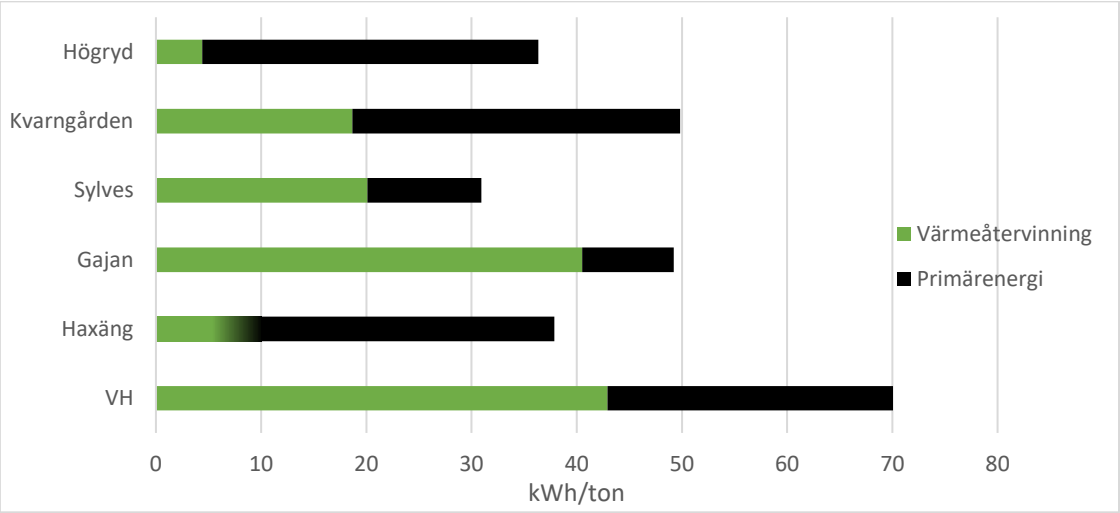
På avsvalningssidan blir det struvitfällning i värmeväxlaren strax före rötkammaren, men framförallt i sista värmeväxlaren mellan efterrötkammare och rötrestlager samt även i rörledningarna runt dessa värmeväxlare. Rengöringen görs varannan månad när tryckfallet blir högt. Rengöringen görs genom att öppna gaveln på värmeväxlaren och spola med kallvatten, högtryckstvätt med hetvatten och slutligen tryckluft, och tar cirka en timme. Vid hårda beläggningar används en lång stång och eventuellt en borrmaskin.

En gång per år görs dessutom en storstädning med högtryckstvätt på 1000 bar.

Värmeväxlarna är av modellen VSV50-122 från Läckeby. Det är slam-vatten-värmeväxlare som installeras parvis för slam-vatten-slam-växling, med raka rör för slammet och vändkammare på gavlarna som går att öppna för inspektion och rengöring. Installationen hos VH biogas är dock så att värmeväxlarna inte går att öppna på ena gavelsidan där annan utrustning är i vägen (se bild 12), vilket försvårar rengöring och inspektion. Några markledningar där struvit bildas har ersatts med luftledningar för att lättare kunna komma åt dem.

3.7 Jämförelse

Gårdarna i fallstudierna som beskrivits ovan har, utifrån sina specifika behov, valt olika metoder för att värma upp sina processer. Det gör att både det totala värmebehovet och andelen primärenergi för uppvärmningen skiljer sig åt kraftigt.



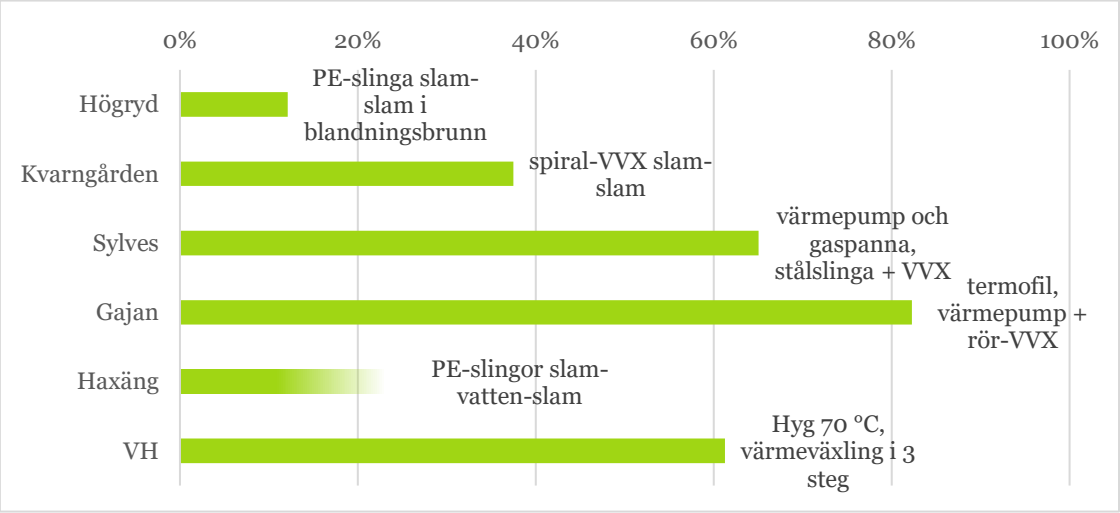
Figur 10: Fördelning av primärvärme och värmeåtervinning för uppvärmning av anläggningarna i fallstudierna. För Haxäng är andelen värmeåtervinning osäker.

Figur 10 visar att det totala värmebehovet på anläggningarna beror främst på den valda processtemperaturen: Kvarngården och Gajan har en termofil process, så att materialet måste värmas upp mer än på Högryd, Sylves och Haxäng som kör mesofilt. Vårgårda Herrljunga har en hygienisering som kräver att materialet värms upp till 70 °C.

Primärvärmebehovet beror dock på mer än bara processtemperaturen. Figur 11 visar andelen av värmen som täcks genom värmeåtervinning. Det syns tydligt att förutsättningarna för effektiv värmeåtervinning ökar med komplexiteten av det valda systemet:

- PE-slingor i blandnings- och avsvalningsbrunnar är enkla, men ger en låg värmeåtervinningsgrad (Högryd, Haxäng)
- När PE-slingorna kompletteras med en värmepump (Sylves, Gajan) uppnås dock en hög värmeåtervinning som kan täcka större delen av värmebehovet, vilket visar att det inte är PE-slingan i sig som är problemet. Värmepumpen kompenserar för den begränsade värmeövergången genom att öka temperaturskillnaden mellan varmt och kallt.
- Att Sylves trots allt har en lägre återvinningsgrad beror på att slaktavfallet värms direkt med värme från gaspannan.

- Utan värmepump men med avancerade värmeväxlare (spiral eller andra motströmsanordningar med slam-slam-värmeväxling) med hög kapacitet uppnås medelgod värmeåtervinning.
- Vårgårda Herrljunga uppnår en hög värmeåtervinningsgrad med sina tre värmeåtervinningssteg, men det beror på hygieniseringen som både är energikrävande och skapar spillvärme på hög temperatur som är lättare att återvinna. Ändå kan konstateras att primärenergibehovet hos VH trots hygieniseringen är lägre än hos gårdarna utan värmeväxlare (Högryd och Haxäng).
- Också tack vare värmeväxlarna är primärenergibehovet hos den termofila Kvarngården på samma nivå som för de mesofila gårdarna utan värmeväxlare.
- Flera seriekopplade värmeväxlare och/eller motströmsvärmeväxlare ger bättre förutsättningar för en hög återvinningsgrad än slingor på insidan av en tank.



Figur 11: Andel av värmebehovet som täcks genom värmeåtervinning. Värdet för Haxäng är osäkert.

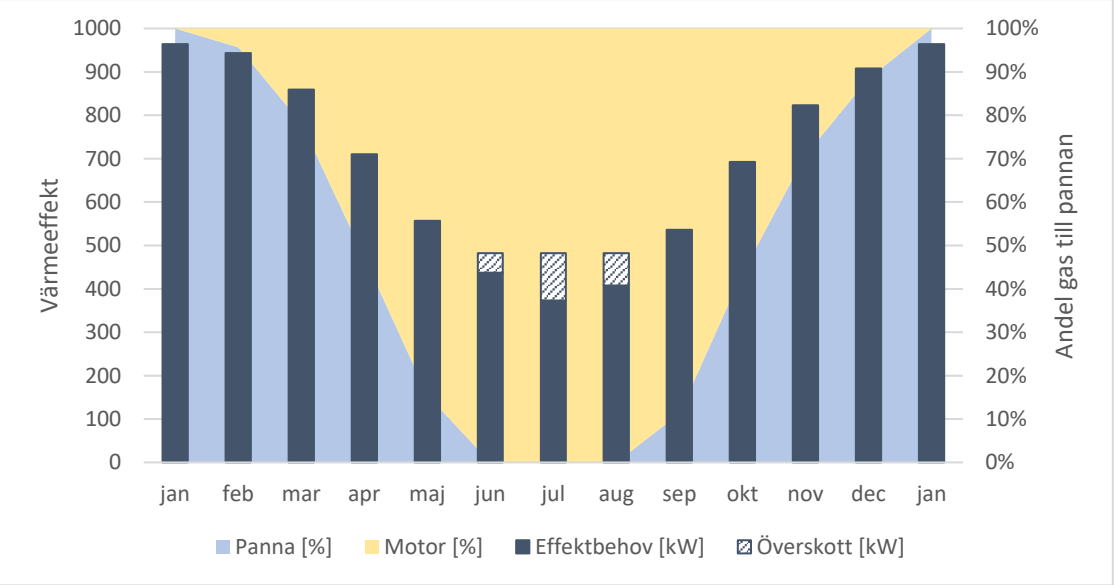
4 Teknik- och systemlösningar

I detta kapitel knyts säcken ihop från inhämtningen av informationen och från fallstudierna. Lärdomarna från dessa sammanfattas genom att lyfta några bra metoder och lösningar som kan hjälpa för att få värmen att räcka till.

4.1 Att få värmen att räcka till på vintern

Biogasen är en bra basproducent i ett närvärmesystem. Att få värmen att täcka mer än egenbehovet (dvs det interna behovet för själva rötningen) under vintern är dock en generell utmaning som inte har enkla lösningar. Anläggningens egenbehov av värme ökar när det är kallt, medan biogasprocessen i mångt och mycket ger samma gaseffekt året om. Därför är det alltid på vintern värmeöverskottet är som lägst, samtidigt som värmebehovet i t.ex. ett närvärmesystem är som högst. Så länge hela energibehovet ska tillgodoses med biogasen som energikälla är möjligheterna att förbättra situationen begränsade.

- **Mätutrustning är viktig:** En förutsättning för att kunna optimera värmesystemet är att ha koll på var värmen tar vägen. Om det är brist på värmeeffekt, se till att ha koll på temperaturer *och flöden* i så många delar av anläggningen som möjligt. Det kan vara en bra investering att utrusta alla större förbrukare med egen värmemätning som i princip inte gör något annat än att mäta temperaturer och flöden. Värmemätare för vanliga flöden (10–25 m³/h) kostar 20 000 till 40 000 kr enligt en tillfrågad leverantör. Se till att du har lite raksträcka och inga ventiler före mätaren.
- **Kombinera gaspanna och gasmotor**: Genom att i första hand köra gasmotorn på sommaren och gaspannan på vintern kan värmeproduktionen anpassas till behovet och resterande energi säljas som el. En gaspanna har ungefär dubbelt så hög värmeverkningsgrad som en gasmotor, vilket gör att den producerade värmemängden kan vara dubbelt så hög på vintern som på sommaren (förutsatt samma substrattillförsel till rötkammaren och därmed samma gasproduktion). Se figur 12. Nackdelen är att endast en del av gasen kan nyttiggöras i kraftvärmeaggregatet, så att intäkten via elförsäljning minskar just under den kalla årstiden då elpriset är som högst.



Figur 12: Räkneexempel på kombination av gaspanna och gasmotor för att anpassa värmeeffekten till behovet. Exemplet baseras på värmeförluster vid en innetemperatur på 30 °C (tänkt genomsnitt som inkluderar rötkammare och byggnader) och utetemperaturen för Örebro enligt SMHI. Vid en högre andel byggnader (dvs en lägre medel-innetemperatur) ökar värmeöverskottet på sommaren.

- **Värmeåtervinning**: Genom värmeåtervinning minskar inte skillnaden i effektbehov mellan sommar och vinter, men effektbehovet för uppvärmning av substrat minskar generellt vilket frigör effekt för andra värmeförbrukare. Det gör även att värmeöverskottet på sommaren ökar och måste fläktas bort om inte värmeåtervinningen kan stängas av eller annan värmeanvändning kan hittas. Se även avsnittet om värmeåtervinning nedan.
- **Anpassa gasproduktionen genom matningen**: Principiellt kan gasproduktionen styras till viss del genom att öka eller minska på matningen av substrat. Att ha djuren inne i stallet på vintern och ute på ängen på sommaren påverkar gastillgången åt rätt håll. En mer kraftfull effekt fås genom att tillsätta energirika substrat på vintern, t.ex. sekunda spannmål,

fastgödsel, energigrödor. Detta förutsätter dock att dessa substrat går att inhandla till ett rimligt pris så att kostnaden inte överstiger den för alternativa uppvärmningslösningar. Det förutsätter även att anläggningen utrustas med teknik för att hantera dessa substrat (både i lagerhållning, matning och rötning) och att gaspannan respektive gasmotorn har kapacitet att ta hand om den tillkommande gasen.

- **Buffring**: Effekttoppar kan till viss del buffras med hjälp av ackumulatortankar. Även rötkammaren kan till viss del användas för att buffra energi (se Haxäng), men det kräver manuell styrning och koll på vädret de kommande dagarna.

En större effekttillgång och flexibilitet för att försörja externa värmeförbrukare året om (t.ex. ett närvärmenät) uppnås dock enbart genom att komplettera eller ersätta gaspannan med en extern värmekälla såsom värmepump eller fastbränslepanna (t.ex. flis, halm, pellets). Vid drift av ett närvärmesystem ökar detta även leveranssäkerheten till förbrukarna så att värmeleveransen inte behöver stängas av vid problem i biogasanläggningen.

4.2 Värmeåtervinning och värmeväxling

Som energienkäten och fallstudierna visar finns det stora möjligheter att återvinna värmeenergi på en biogasanläggning och därmed minska primärvärmebehovet. Här listas saker att ha ett öga på vid val av system och tekniklösning:

- **Beläggningar och rengöring**: I de flesta värmeväxlingssystem blir det avlagringar eller beläggningar. När substrat värms upp och temperaturen på den varma sidan av värmeväxlaren är hög kan det bli fastbränning (se avsnitt 3.6). Vid kylning av biogödsel är ofta ammoniumhalten hög så att det bildas struvit som under en viss temperatur fäller ut och bildar beläggningar i rör. Beläggningarna är ofta hårda och leder så småningom till minskad värmeväxlingskapacitet. Indikationer för beläggningar är ökat tryckfall på slamsidan och minskade temperaturskillnader mellan in- och utgående flöden (på båda sidor). Det är viktigt att kunna rengöra både själva värmeväxlaren och rörledningarna nerströms vilket underlättas om den är lätt åtkomlig och kan öppnas från båda sidor. Rengöringen kan göras med kemikalier (se t.ex. Kvarngården, 3.2) vilket innebär att lämpliga rutiner för hantering av kemikalier behövs, och/eller mekaniskt (t.ex. högtryckstvätt, knackning, borrning). Det går att anlita specialfirmor för rengöringen. Räkna med några timmar till en arbetsdag för rengöringen.
- **Utformning av värmeväxlare:** Olika typer av värmeväxlare ger olika bra förutsättningar för hantering av beläggningar. Generellt lämpar sig bara värmeväxlare med stort öppet tvärsnitt för att förvärma inkommande substrat, såsom rörvärmeväxlare. Vanliga plattvärmeväxlare sätter igen, men det finns modeller med större tvärsnitt som kan fungera på biogödselsidan. Raka rör, mjuka böjar och öppningsbara gavlar (vändkammare) underlättar rengöringen. Spiralvärmeväxlare går också att öppna för rengöring.

- För att undvika igensättning vid mindre tvärsnittsyta och klena vändkammare kan materialet sönderdelas innan det kommer till värmeväxlaren, vilket dock innebär ytterligare kostnader i både investering och drift/underhåll.
- Genom värmeväxling med utgående material (utan värmepump) kan temperaturen på substratet ökas till maximalt ca 20 grader under måltemperaturen. Resten av värmen måste tillföras som primärenergi. Det innebär också att nyttan med värmeåtervinningen blir desto större ju högre rötningstemperaturen är.

Nyttan med värme-återvinning är störst vid hög rötningstemperatur.

4.3 Värmepumpar

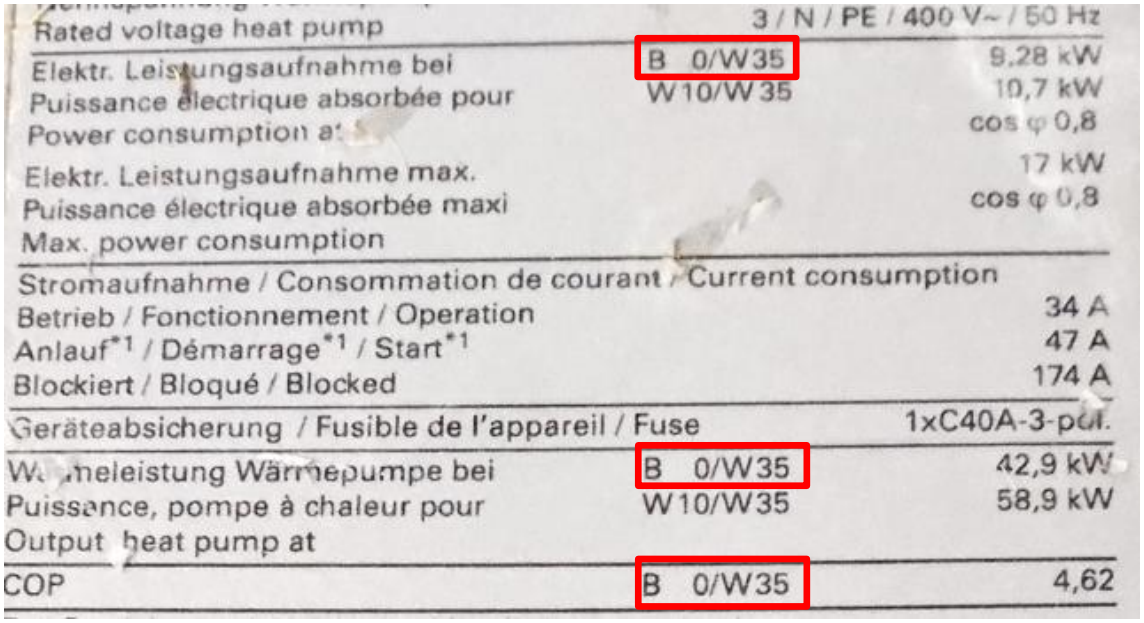
Värmepumpar använder oftast elenergi för att ”pumpa” upp värmeenergi från en lägre till en högre temperaturnivå. Värmemängden som levereras är flera gånger större än mängden elenergi som används. Detta anges som **Effekttalet** (COP – coefficient of performance) som anger förhållandet mellan levererad värmeeffekt och inmatad eleffekt. Effekttalet beror bland annat på temperaturskillnaden mellan kalla (biogödseln) och varma sidan (inkommande substrat). En liten temperaturskillnad ger ett högt effekttal.

Det mest effektiva sättet att använda en värmepump i en biogasanläggning är därför att bygga in den i värmeåtervinningen mellan in- och utgående material (se t.ex. Gajan, avsnitt 3.4). Det gör att värmen hämtas från en relativt hög temperaturnivå så att effekttalet blir högt. Vid 55 °C på varma sidan och återvinning av värme från den varma rötresten ligger effekttalet runt 3,5. Värmepriset hamnar då på bara ca 30 öre/kWh vid ett elpris på 1 kr/kWh. Effekttalet är högt jämfört med t.ex. villavärmepumpar som måste hämta värmen från en betydligt lägre nivå.

En sak som dock behöver beaktas är att vanliga köldmedel fungerar sämre om den kalla sidan är varmare än 20 °C. Värmepumparna har ofta en skyddsfunktion som stänger av anläggningen om den kalla sidan är för varm, vilket kan leda till problem på varma sommardagar eller när värmepumpen inte har gått ett tag och den kalla sidan (t.ex. biogödsellagret) blivit för varmt. Det går att stänga av skyddsfunktionen, dock på egen risk. Ett alternativ är att använda andra, mindre vanliga köldmedel så att den kalla sidan kan vara upp till 45 °C varm. Detta innebär dock en betydligt högre investeringskostnad. [5]

Vid inköp av värmepump är det viktigt att komma ihåg att märkeffekten på värmepumpar anges för temperaturnivåer som är vanliga vid uppvärmning av byggnader: 0 °C på kalla sidan och 35 °C på varma sidan (se figur 13). När man istället har 15 °C på kalla sidan och 60 °C på varma sidan blir COP lägre, medans värmeeffekten och elförbrukningen är högre än vad som anges på typskylten. För exemplet i figur 13 skulle COP vara 3,5 och värmeeffekten 54 kW, och eleffekten skulle hamna på 17 kW, dvs nästan en fördubbling mot typskylten.

[5] Per-Johan Carlsson, Viessmann



Rated voltage heat pump		3 / N / PE / 400 V~ / 50 Hz
Elektr. Leistungsaufnahme bei Puissance électrique absorbée pour Power consumption at	B 0/W35 W10/W35	9,28 kW 10,7 kW cos φ 0,8
Elektr. Leistungsaufnahme max. Puissance électrique absorbée maxi Max. power consumption		17 kW cos φ 0,8
Stromaufnahme / Consommation de courant / Current consumption		
Betrieb / Fonctionnement / Operation		34 A
Anlauf*1 / Démarrage*1 / Start*1		47 A
Blockiert / Bloqué / Blocked		174 A
Geräteabsicherung / Fusible de l'appareil / Fuse		1xC40A-3-pol.
Wärmeleistung Wärmepumpe bei Puissance, pompe à chaleur pour Output heat pump at	B 0/W35 W10/W35	42,9 kW 58,9 kW
COP	B 0/W35	4,62

Figur 13: Typskylt på värmepump. Märkeffekten anges för 0 °C på kalla sidan och 35 °C på varma sidan.

Med värmepump går det att tillgodose hela systemets värmebehov med återvunnen värme (samt den elenergi som värmepumpen drar). Värmepumpar har dock högst effekttal om värmen används på en inte för hög temperatur och är mindre effektiva för att leverera värme för t.ex. pastörisering vid 70 °C (se Sylves, 3.3).

Anläggningar med bara värmepump behöver ha en särskild strategi för att få upp temperaturen vid uppstarten då värme inte kan hämtas från den egna biogödseln. Situationen är liknande den med gaspanna där man i början inte har någon gas till pannan, men lösningen kan se annorlunda ut och beror inte minst på de lokala förutsättningarna. För exempel, se Gajan, avsnitt 3.4. Vid värmepumpsinstallationer som har ett krav på att kyla biogödseln kan det å andra sidan bli ett värmeöverskott på sommaren som måste fläktas bort.

4.4 Gasmotorer

Gasmotorernas effekt regleras normalt efter gastillgången för att maximera elproduktionen snarare än efter värmebehovet. Det leder till ett värmeöverskott framförallt på sommaren som måste fläktas bort för att kylvattnet till motorn inte ska bli för varmt. Även omrörningen och själva rötningen bidrar till värmebalansen med ett mindre värmetillskott som blir mer påtagligt ju större rötkammaren är eftersom de relativa värmeförlusterna genom manteln blir mindre.

Normalt är en gasmotor utrustad med både motorkylning och avgasvärmeväxlare där avgastemperaturen tas ner till under 180 °C. Vid fullast återvinns ungefär hälften av värmen i avgasvärmeväxlaren. Det innebär att en motor som saknar avgasvärmeväxlare bara kan leverera hälften så mycket värme, och avgastemperaturen blir mycket hög (över 400 °C). [6]

[6] Enligt Christian Wollin, Tedom Schnell GmbH

Kylvattnet i returledningen till motorn behöver ha en temperatur på runt 65–70 °C. Vid över 67 °C leds returvattnet genom nödkylaren för att garantera att motorn kan kylas tillräckligt [6]. När en gasmotor byggs in i ett befintligt system är det därför viktigt att den placeras i systemet så att returvattnet till motorn har tillräckligt låg temperatur. Annars fläktas värmen bort i nödkylaren, och motorns möjligheter att bidra med värme till systemet minskar. Två förutsättningar för en tillräckligt låg returtemperatur är att plattvärmeväxlaren har tillräckligt stor kapacitet samt att kylvattenflödet genom värmeväxlaren och motorn är tillräckligt stort.

En annan orsak till att värmeeffekten från motorn minskar är att förbränningsluften är för varm (över 45 °C) eller att motorkylningen av annan orsak inte fungerar bra. I dessa fall begränsas motoreffekten automatiskt.

Efter att ha passerat motorkylningen och avgasvärmeväxlaren ökar kylvattentemperaturen till omkring 90 °C i framledningen. Det är även möjligt att ha en separat kylkrets med termalolja till avgasvärmeväxlaren, så att värmen därifrån kan användas på en högre temperatur på upp till 130 °C. På så vis kan en del av spillvärmen användas för att t.ex. producera ånga.

4.5 Räkneexempel och prisuppskattningar

Haxäng och andra anläggningar har problem med att täcka värmebehovet för hela systemet på vintern. Ett sätt att adressera problemet är att komplettera systemet med en värmepump. Hur detta skulle kunna se ut energimässigt och ekonomiskt beskrivs nedan.

Exakt hur en anläggnings ekonomi påverkas av investeringar i värmesystemet beror i mångt och mycket på de lokala förutsättningarna såsom den exakta förbrukningskurvan för värme över vintern, och ifall biogasen går till fordonsgas eller inte. Utan dessa uppgifter går det inte att räkna fram något värmepris, så räkneexemplet nedan stannar vid att ge en uppskattning av investeringsvolymen.

Tabell 1 visar ett räkneexempel på den externt tillgängliga värmeeffekten på vintern för olika alternativ. Utan någon värmeåtervinning antas att all gas tillförs en gaspanna för att få ut så mycket värmeeffekt som möjligt. Efter att tillgodosett rötningen med värme återstår det knappt 90 kW värmeeffekt för övriga förbrukare såsom intilliggande byggnader.

Tabell 1: Exempelräkning på tillgänglig värmeeffekt med olika system. Siffrorna bygger på några grova förenklingar och gäller vintern där gasen prioriteras till gaspannan enligt figur 12, förutom vid systemet med värmepump. Övriga antaganden: COP 3,5; elverkningsgrad 42 %, värmeverkningsgrad motor 40 %, värmeverkningsgrad panna 90 %.

		Utan för-värmning	Värme-slingor	Värme-pump
Substrattemp efter förvärmning	°C	6	13	6
Rötningstemperatur	°C	37	37	37
Temperatur rötrest	°C	37	30	15
Substratmängd	ton/år	22 000	22 000	22 000
Metanproduktion	Nm^3/år	400 000	400 000	400 000
Gaseffekt	kW	455	455	455
Andel gas till pannan (rest till motorn)		100%	100%	0%
Värmeeffekt från pannan	kW	410	410	0
Värmeeffekt från gasmotorn	kW	0	0	182
Effektbehov uppvärmning	kW	311	241	311
Effektbehov förluster	kW	10	10	10
Summa värme till rötning	kW	321	251	321
Värme från värmepump	kW	0	0	321
Tillgänglig värmeeffekt externt	**kW**	**88**	**159**	**182**
Elbehov värmepump	kW	0	0	92
Elproduktion gasmotor	kW	0	0	191
Eleffektöverskott	**kW**	0	0	**99**
Investeringar (uppskattning)				
Värmepumpar	kr		0	200 000[7]
Värmeväxlare/-slingor	kr		100 000	200 000[8]
Övriga materialkostnader	kr		100 000	200 000
Installation	kr		50 000	100 000
Summa investering	**kr**	**0**	**250 000**	**700 000**

Om anläggningen utrustas med enkla värmeslingor med en vattencirkulationskrets emellan såsom vid Haxäng uppnås en förvärmning av inkommande substrat med kanske 7 °C.[9] Det gör

[7] Per-Johan Carlsson, Viessmann. Gäller 2 värmepumpar med 45 resp. 30 kW märkeffekt.

[8] Anders Swedenfeldt, Elis Johanssons smides AB. Gäller 2 värmeväxlare likt de hos Gajan.

[9] Det ska noteras att den exakta mängden återvunnen värme beror helt på dimensioneringen av det valda värmeväxlingssystemet. Enklare system (t.ex. PE-rör, mindre värmeväxlingsyta) är billigare men ger också lägre värmeåtervinning.

att den tillgängliga effekten för externa värmeförbrukare ökar till nästan 160 kW. Även här antas att all gas går till gaspannan.

Högra kolumnen visar alternativet med en värmepump som används istället för gaspannan för att värma biogasanläggningen så snart spillvärmen från motorn inte längre räcker till för alla förbrukare. Här räknas med värmeväxlare såsom den vid Gajan biogas (raka dubbelmantlade rör). Systemet får ett stort regleområde för värmeproduktion från 180 kW till 730 kW när bara gasmotorn går på sommaren jämfört med på vintern när en gaspanna och värmepumpen går samtidigt. Det innebär att den tillgängliga värmeeffekten för externa förbrukare på vintern blir drygt 180 kW utan att använda pannan. Dessutom fås ett elöverskott på 100 kW jämfört med de andra alternativen där gasen går till pannan. Om gaspannan används istället för gasmotorn kan ytterligare 200 kW värmeeffekt tillhandahållas. På sommaren när spillvärmen från gasmotorn räcker till används inte värmepumpen.

För en mer avancerad anläggning med spiralvärmeväxlare som på Kvarngården blir kostnaden för värmeväxlaren lite högre. Investeringen för själva värmeväxlarna ligger på cirka 300 kkr/st. Det tillkommer kringkostnader på 100 kkr, samt 300 kkr om pumparna behöver bytas ut för att klara det högre mottrycket. Summan för installationen vid Kvarngården blev därmed omkring 1 Mkr.

Effektuppgifterna är bara extremvärden för värmeeffekttillgången som kan uppnås med respektive konfiguration. Vilken variant som är bäst för en specifik anläggning (t.ex. utifrån ett beräknat värmepris i kr/kWh) beror på värmeförbrukningsmönstret över året och ställda krav på leveranssäkerhet. För en konkret kalkyl behövs framförallt en varaktighetskurva för värmeförbrukningen, helst över årets alla timmar.

5 Slutsatser och råd

- Hur varmt är substratet när det matas in i rötkammaren? Merparten av rötningsanläggningens värmebehov utgörs av uppvärmning av substratet. Det gör att värmeåtervinning från rötresten till substratet är den mest kraftfulla åtgärden att använda om man vill frigöra mer värmeeffekt. Detta gäller framförallt större anläggningar och anläggningar med hög substratgenomströmning.
- Att återvinna värmen från rötresten har den nyttiga bieffekten att metanbildningen stannar av, så att växthusgasemissionerna minskar.
- Att förbättra en god isolering har mindre effekt på anläggningens värmebalans. Men det kan ändå vara lönsamt (eftersom det är enkelt) att åtgärda oisolerade köldbryggor såsom manluckor och på så sätt med enkla åtgärder frigöra lite extraeffekt.
- Att höja temperaturen på inkommande substrat från 5 till 10 °C genom värmeåtervinning minskar det resterande uppvärmningsbehovet för en mesofil rötning med cirka 15 %. Isolering av en oisolerad manlucka ger bara 1 % mindre värmebehov.
- På sommaren har de flesta anläggningar ett överskott på värme som måste fläktas bort. Att nyttiggöra överskottet är ofta svårt. Att torka spannmål, ved etc är en möjlig och vanlig användning, även om det ekonomiska värdet är begränsat och inte kan jämföras med värmepriset som gäller på vinterhalvåret.

- Det är svårt att bygga ett närvärmesystem med enbart biogas som energikälla. Det leder till effektbrist under de kallaste månaderna på året, så att kunder måste stängas av, och/eller kraftigt effektöverskott på sommaren. En biogasanläggning med gasmotor och/eller gaspanna är dock en bra basproducent för värme om den kompletteras med annan värmeproduktion som t ex en värmepump eller fastbränslepanna för att hantera svängningarna i effektbehovet.
- Att komplettera systemet med fastbränslepanna eller värmepump möjliggör för att använda all biogas i gasmotorn även på vintern vilket kan förbättra ekonomin.
- Att aktivt kunna jobba med värmesystemet förutsätter att man har koll på vart energin tar vägen. Ett första steg är att ha temperaturvisning på alla strategiska ställen. Nästa steg är att mäta vattenflöden i värmesystemet. Värmemätare kombinerar temperatur- och flödesmätning och är bra att ha, men kan vara orimligt dyra jämfört med värdet på värmen.
- Räkna med att det blir avlagringar när du förser ditt system med värmeväxlare. Risken för utfällningar är synnerligen stor vid kylning av rötrest med hög kvävehalt då det ofta bildas struvit. Vid uppvärmning av substrat leder hög temperatur på varmvattensidan lätt till fastbränning på slamsidan. Ha en plan för hur värmeväxlarna och kringliggande rörledningar ska rengöras. Bygg in temperatur- och tryckgivare före och efter varje värmeväxlare; då ser du när det är dags att rengöra.
- Välj en nivå på värmeåtervinning som motsvarar det verkliga behovet. Om effektbristen bara är liten räcker det kanske med ett enkelt, billigare system som vid Haxäng eller Högryd. Vill du frigöra stora värmemängder får det bli ett system med avancerade värmeväxlare, värmepump eller fastbränslepanna, som har en motsvarande högre kostnad.

Daniel Tamm, RISE (Huvudförfattare/Kontaktperson)
www.hushallningssallskapet.se | 0480-555 555 | info@hushallningssallskapet.se

Hushållnings sällskapet