



Utvärdering av viskositet och omrörningsmetoder vid gårdsbiogasanläggningar

Rapport i projektet "Utvärdering av biogasanläggningar på gårdsnivå"



Förord

Projektet *Utvärdering av biogasanläggningar på gårdsnivå* ägs av Hushållningssällskapets Förbund och utförs i nära samarbete med Institutet för jordbruks- och miljöteknik (JTI). Dess främsta syfte är att utvärdera gårdsbiogasanläggningar avseende teknik, drift, biologi och ekonomi. Projektet pågår mellan åren 2011 och 2014 och ca 30 anläggningar deltar i projektet. Dessa anläggningar besöks regelbundet av projektets rådgivare.

Det viktigaste syftet med projektet är att inhämta och sprida kunskap om gårdsbiogasproduktion till befintliga och blivande anläggningsägare. Projektet ska därutöver utveckla och formulera rådgivning till branschen.

I denna rapport redovisas erfarenheter rörande omrörningssystemens prestanda vid de biogasanläggningar som är med i projektet. Underlaget till denna rapport har tagits fram inom två examensarbeten genomförda av Lisa Nilsson och Pontus Nordgren. Denna rapport är en slutrapport skriven av Henrik Olsson (JTI), som handlett examensarbetena och är en av rådgivarna i projektet.

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

Mer information om projektet finns på hemsidan www.bioenergiportalen.se.

Stockholm november 2014

Jesper Broberg, VD, Hushållningssällskapets Förbund
Henrik Olsson, huvudförfattare, JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik
Karin Eliasson, projektledare, Hushållningssällskapet Sjuhärad

Sammanfattning

Denna rapport utgör en del i projektet ”Utvärdering av biogasanläggningar på gårdsnivå” som ägs av Hushållningssällskapets Förbund och utförs i nära samarbete med JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik. Det viktigaste syftet med projektet är att inhämta och sprida kunskap om gårdsbiogasproduktion till befintliga och blivande anläggningsägare. Projektet finansieras av Jordbruksverket via EU-medel.

I denna rapport redovisas erfarenheter från omrörningssystemens prestanda vid de gårdsbaserade biogasanläggningar som deltar i projektet. Rötkammarvolymerna för anläggningarna varierar från ca 200 m³ till ca 6000 m³. Huvudsubstrat för samtliga anläggningar utgörs av flytgödsel. Utöver flytgödsel rötar många av anläggningarna i varierande utsträckning andra substrat som fastgödsel, energigrödor samt restprodukter från foder- och livsmedelsindustrin. Underlaget till denna rapport utgörs huvudsakligen av två examensarbeten som genomförts inom projektet.

Omrörning av rötkammaren är en nyckelfunktion i en biogasprocess och bidrar till att det går att ha en bra kontroll på rötningsprocessen. Felaktig design och driftstrategi av rötkammarens omrörare kan bidra till onödigt stort behov av processelektricitet och därmed försämrade anläggningsekonomi. De ekonomiska konsekvenserna kan dock bli vida mycket större om omröraren inte klarar av att hålla rötkammaren totalomblandad eftersom detta kan leda till minskad biogasproduktion, instabilitet i rötningsprocessen, tömning av rötkammare och andra akuta insatser.

Det specifika elbehovet för omrörning av rötkammaren varierade mellan 1 och 25 Wh/h och m³ för de studerade anläggningarna. Elbehovet för omrörning av rötkammaren hade stor spridning inom kategorin små gårdsanläggningar. Stora rötkammare verkar generellt ha ett lägre elbehov för omrörning än små rötkammare. Hälften av anläggningarna hade ett specifikt elbehov som var lägre än 10 Wh/h och m³. Flera av anläggningarna har ett väsentligt högre elbehov jämfört mot vad som rapporteras i litteraturen. Elbehovet för omrörning var störst för den grupp av gårdsanläggningar som hade lägst viskositet och minst andel partiklar i rötkammaren. I denna grupp har flertalet rapporterat att de är tvungna att välja bort substrat med hög TS-halt för att undvika driftsproblem. Detta betyder att omrörarsystemen i en betydande andel av de svenska gårdsbiogasanläggningarna utgör ett stort hinder för ökad biogasproduktion genom rötning av fasta substrat.

Innehållsförteckning

Inledning	1
Bakgrund	2
Rötkammarinnehållets egenskaper	3
Allmänt om viskositet.....	3
Mätning av viskositet på rötkammarinnehåll.....	3
Partiklar och strån	4
Densitet.....	5
Omrörning	7
Generella kriterier för god omrörning.....	7
Faktorer som påverkar elbehov	8
Typer av omrörare	9
Litteraturuppgifter om elbehov för omrörning.....	10
Resultat från kartläggning av elbehovet för omrörning	12
Slutsatser och diskussion	15
Rekommendationer	17
Referenser	18

Inledning

Denna rapport sammanställer erfarenheter och data från omrörningssystemen vid de gårdsbiogas-anläggningar som är med i projektet *Utvärdering av biogasanläggningar på gårdsnivå*. Syftet med delprojektet var att dokumentera och utvärdera prestandan för omrörningssystemen. Förhoppningen är att denna rapport kommer att sprida mer kunskap och ge en samlad bild av omrörningssystemen vid de svenska gårdsbiogasanläggningarna som deltagit i projektet. Målgruppen för rapporten är rådgivare, anläggningsägare, forskare och övriga intressenter.

Arbetet har genomförts i flera steg. Dels har data och erfarenheter om omrörningssystemen samlats in av rådgivarna under deras besök på anläggningarna. Vidare har det genomförts två examensarbeten på området inom projektet. Det ena har genomförts av Pontus Nordgren (Utvärdering av viskositet och omrörningsmetod vid olika gårdsbiogasanläggningar) där han tittat på omrörarteori och viskositet. Det andra examensarbetet genomfördes av Lisa Nilsson (Utvärdering av viskositet och omrörningsmetoder vid gårdsbiogasanläggningar – Analyser och datainsamling) som gjorde analyser på rötkammarinnehåll samt sammanställde information som samlats in av rådgivarna. Denna rapport bygger på resultaten från dessa två examensarbeten samt ytterligare information från rådgivarna.

Bakgrund

Hushållningssällskapet tillsammans med JTI har inom projektet ”Utvärdering av biogasanläggningar på gårdsnivå” utvärderat ca 30 biogasanläggningar avseende produktion, ekonomi, teknik och klimatfrågor. Arbetet har genomförts av rådgivare som besökt anläggningarna med jämna mellanrum. En fråga som ofta kommit upp i arbetet och vid rådgivningstillfällena är omrörningen. Omrörningen påverkar processen och gaskvalitén. Men omrörningssystemet påverkar även ekonomin på grund av drift- och underhållskostnader, inte minst elbehovet för omrörarna. Ett undermåligt omrörarsystem hindrar även anläggningen att optimera biogasproduktionen genom att använda fasta substrat.

Omrörning är en viktig del av anläggningen och utgör vanligtvis en av de största elförbrukarna vid en gårdsbiogasanläggning. Ej optimerad drift och design kan förorsaka onödigt stort processelbehov och därmed uteblivna intäkter. Undermåliga omrörningssystem kan även orsaka driftstörningar relaterade till sedimentation och/eller bildning av svämtäcke. För att åtgärda sedimentation i rötkammaren krävs det vanligtvis att rötkammaren töms, vilket kan förorsaka stora bortfall i biogasproduktionen eftersom anläggningen därefter kan behöva genomgå en ny uppstartsprocess.

Många anläggningar undviker att röta fasta substrat som finns tillgängliga av den anledningen att de då får problem med svämtäckesbildning i rötkammaren. Detta begränsar anläggningens effektivitet och kan ha en stor inverkan på dess ekonomi.

För att utvärdera prestandan av omrörningssystemen på biogasanläggningarna i projektet har en kartläggning gjorts där rådgivarna samlat in information från gårdarna. I denna kartläggning har omrörningssystem beskrivits med avseende på vilka typer av omrörare som finns, hur de är placerade, hur de styrs samt hur stor rötkammaren är. Vidare har information om elbehov och driftsproblem samlats in. Elbehovet har sedan dividerats med rötkammarvolymen för att på så vis få ett jämförbart nyckeltal. Enheten har valts till Wh/h och m³. För att få dygnsförbrukningen vid anläggningen multipliceras detta tal med 24 timmar samt rötkammarvolymen.

Vid besöken har även prover tagits på rötkammarinnehållet. Viskositet, TS, densitet och förekomsten av partiklar har analyserats. Dessa data har sedan använts för att utvärdera omrörningssystemen.

Rötkammarinnehållets egenskaper

Detta kapitel beskriver vilka egenskaper som rötkammarinnehållet från de olika biogasanläggningarna haft.

Allmänt om viskositet

Viskositet (μ) är ett mått på hur trögflytande en vätska är. Vanligtvis brukar viskositet och TS-halt likställas, vilket är både rätt och fel. Viskositeten för en specifik vätska beror vanligtvis av dess koncentration som ofta beskrivs med dess TS-halt. Men viskositeten beror lika mycket av vad torrsubstansen består av, t.ex. partikelstorlek eller om vätskan innehåller substanser som ger gel-liknande egenskaper.

Generellt är viskositet en ingenjörsmässig viktig parameter för att beskriva de fysikaliska egenskaperna för en slurry och används för att beräkna:

- Värmeövergång i värmeväxlare
- Tryckfall i rörledningar
- Utformning av propelleromrörare och pumpar
- Sedimentations- och flotationsegenskaper för partikulärt material i en slurry

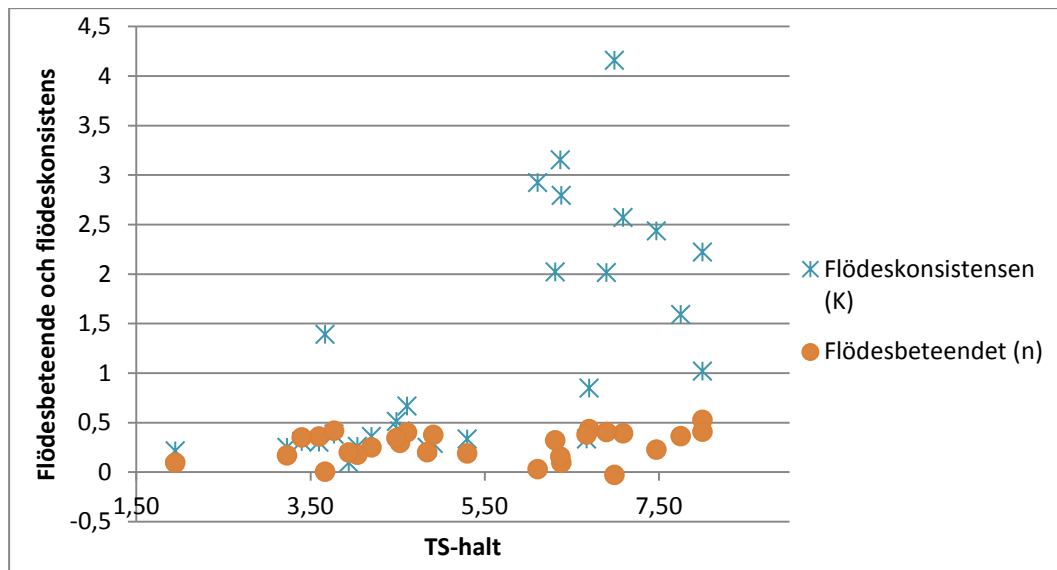
Det finns många olika yttre faktorer som påverkar viskositeten hos ett material, bland annat temperaturen och skjuvhastigheten. Viskositeten kan ofta beskrivas av en potensfunktion enligt ekvation 1 där K beskriver flödeskonsistensen, n beskriver flödesbeteende och du/dy är skjuvhastigheten.

$$\mu = K \frac{du^{n-1}}{dy} \quad (1)$$

Skjuvhastigheten kan förenklat beskrivas som ett mått på en flödes hastighet i förhållande till ett avstånd. Enheten blir 1/s eftersom hastigheten (m/s) divideras med ett avstånd (m). Skjuvhastigheten kan variera t.ex. beroende på hur snabbt en propeller roterar och hur stor den är. Flödesbeteendet beskriver hur viskositeten förändras när skjuvhastigheten förändras och kan användas för att dimensionera omrörare. Vatten är en newtonsk vätska där $n=1$ vilket innebär att viskositeten inte ändras med skjuvhastigheten. Om n är mindre än 1 benämns vätskan som skjuvtunnande vilket innebär att viskositeten blir lägre om skjuvhastigheten ökar. Eftersom viskositeten ofta beror av skjuvhastigheten används ofta begreppet skenbar viskositet. Den skenbara viskositeten är viskositeten vid en specifik skjuvhastighet. Därför kan en vätska ha olika skenbar viskositet beroende på vid vilken skjuvhastighet som den betraktas.

Mätning av viskositet på rötkammarinnehåll

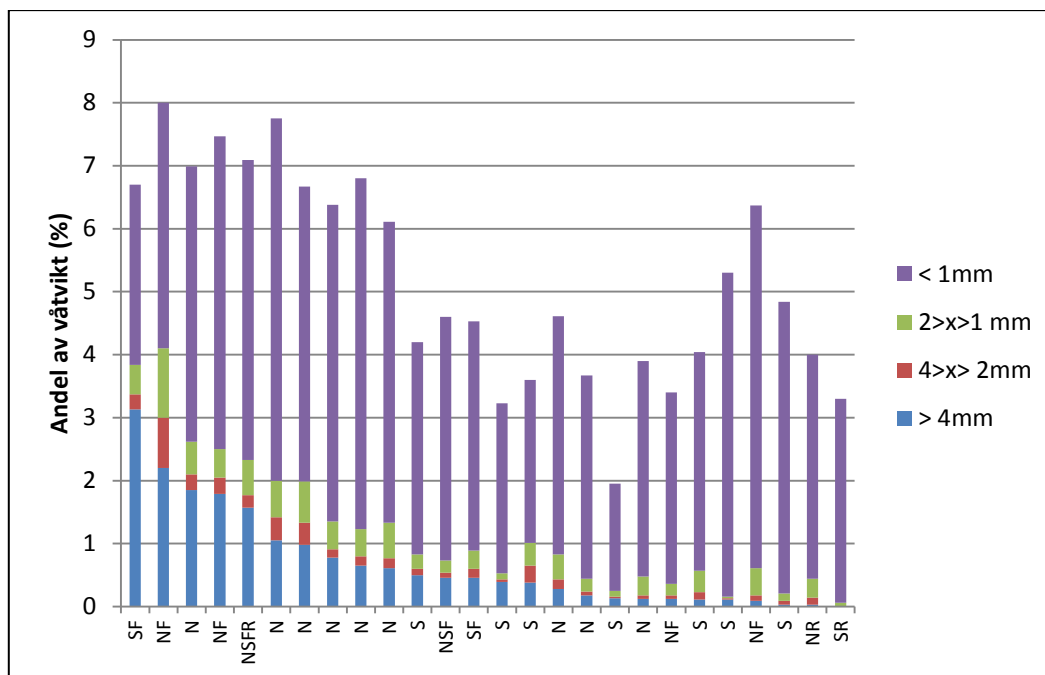
De i denna rapport redovisade viskositetsvärdena har uppmätts med en Brookfield LV rotationsviskosimeter. Figur 1 visar hur viskositeten (n- och K-värdena) i detta projekt varierade med TS-halten. Flödesbeteendet (n) tycks inte bero av TS-halten. Däremot stiger flödeskonsistensen (K) med TS-halten. Detta betyder att när materialet blir tjockare stiger viskositeten men flödesbeteendet förblir ungefär det samma. Alla undersökta prover hade ett n-värde mindre än 1 vilket betyder att materialen är skjuvtunnande.



Figur 1. Samband mellan flödesbeteendet (n) och TS-halt samt flödeskonsistensen (K) och TS-halt på röt-kammarinnehall (Nilsson, 2014).

Partiklar och strån

Förekomsten av partiklar och strån samt sönderdelningsgraden av dessa nämns ofta som en viktig faktor vid omrörning av röt-kammare (Nordberg m.fl., 1997; Nordberg och Edström, 1997). Därför genomfördes en enklare mätning av förekomsten av olika partiklar för materialet från de olika röt-kamrarna. Figur 2 visar resultat från dessa mätningar samt information om vilka typer av substrat som rötas (Nilsson, 2014). I figuren är anläggningarna sorterade efter hur stor andel av våtvikt som utgörs av partiklar större än 4 mm (t.ex. strån). Substraten har delats in i grupperna S=Svinflyt, N=Nötflyt, F=Fasta fiberrika substrat (djupströbbädd och energigrödor), R=Restprodukter (matavfall, potatis, mjöl, slakterirester och sockerrikt vatten). Kopplat till Figur 2 redovisas i Figur 7 hur partikelstorleken påverkar anläggningarnas elbehov och viskositet.

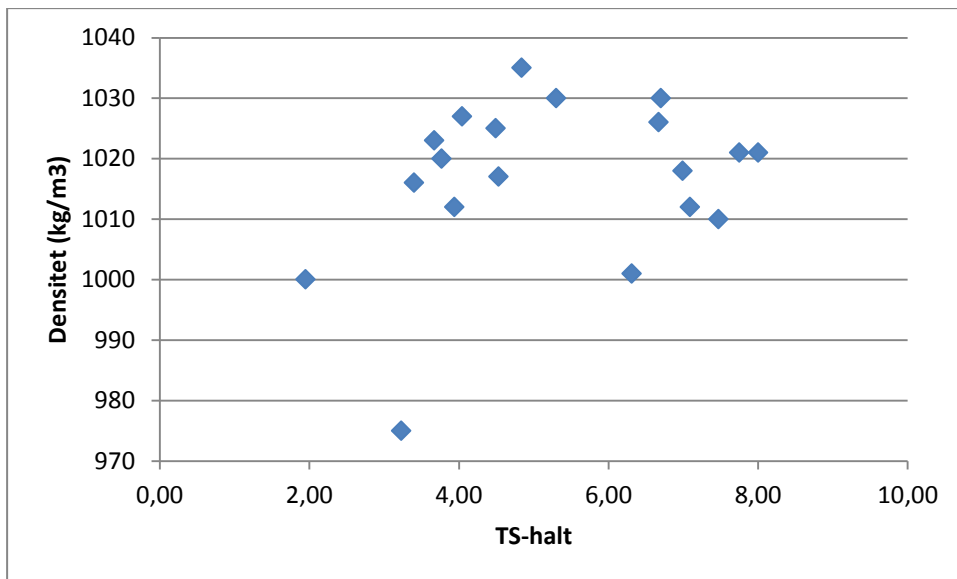


Figur 2. Storleksfördelning av partiklar i röttkammarinnehållet. S=Svin, N=Nöt, F=Fasta fiberrika substrat, R=Restprodukter (Nilsson, 2014), se även Figur 7.

De anläggningar som har störst andel partiklar större än 4 mm, rötar antingen nötflytgödsel eller tillsätter fasta och fiberrika substrat. I övrigt kan sägas att variationen är stor i både TS-halt och hur stor andel av TS som utgörs av partiklar. Däremot går det inte att säga att nötflytgödsel alltid innehåller stora partiklar eftersom det även finns gårdar med nötflytgödsel som har en liten andel stora partiklar.

Densitet

Densiteten påverkar elbehovet vid omrörning av vätskor (Nordgren, 2014). Med en högre densitet åtgår det mer energi för att flytta materialet. Därför genomfördes mätningar av densiteten för prover inom detta projekt. Figur 3 visar uppmätt densitet och TS-halt för de prover som analyserades inom projektet. Det gick ej att finna något samband mellan TS-halt och densitet för de analyser som genomfördes. Medelvärdet för de analyserade proverna var 1 016 kg/m³ och standardavvikelsen var ± 14 kg/m³.



Figur 3 Rötkammarinnehållets TS-halt och densitet på prover tagna från gårdsbiogasanläggningarna i projektet (Nordgren, 2014).

Omrörning

Elbehovet för omrörning av en rötchammare brukar ofta vara det enskilt största bidraget till det totala processelbehovet för att driva biogasanläggningen. I FNR (2005) rapporteras att omrörningen av rötchammare för åtta studerade tyska gårdsanläggningar bidrog med 15 till 57 % av det totala processelbehovet (medelvärde är 38 %).

Generella kriterier för god omrörning

Omrörning av en våtrötningsprocess är en nyckelfunktion för att kunna kontrollera betingelserna i rötchammaren. Omrörningens effektivitet är beroende av ett större antal faktorer, varför noggrann dimensionering skall prioriteras. I samband med dimensionering bör det även beaktas att rötchammarens driftbetingelser troligen kan komma att förändras under biogasanläggningens livstid. Exempel på detta är att en vanligt förekommande optimeringsmetod vid biogasanläggningar är att fasa in nya substrat som har hög TS-halt och som genererar mer biogas. Detta leder normalt till högre TS-halt i rötchammaren.

En god omrörning ska säkerställa att:

- tillfört substrat fördelas i hela volymen
- temperaturen är lika i hela volymen och värmeövergången är god mellan rötchammarinnehåll och värmeöverförande ytor genom att materialet har en god hastighet över dessa ytor
- det inte ackumuleras bottensediment i rötchammaren
- det inte bildas ej önskat svämtäcke på ytan i rötchammaren
- producerad biogas snabbt kan lämna vätskefasen i rötchammaren och istället övergå i dess gasfas ovan vätskeytan
- jämn biogaskvalitet erhålls. Uppstår zoner i rötchammaren där det koncentreras upp nedbrytbart material kan det uppstå partiella överbelastningar i rötchammaren som kan leda till minskat innehållet av metan i biogasen

Bottensediment och svämtäcke minskar den aktiva rötningens volymen. Betydande volymer sediment eller svämtäcke kan skapa inaktiva zoner, vilket kan leda till okontrollerad ökad organisk belastning i de aktiva områdena. Att bryta svämtäcken och bottensediment kan även leda till att stora mängder organiskt nedbytbart material frigörs och orsakar en överbelastning. Ganidi m.fl. (2009) adresserar dessa problem som en möjlig anledning till skumbildning för biogasanläggningar vid avloppsrenningsverk. Men överbelastning av biogasprocessen till följd av minskad aktiv volym eller att ackumulerat material frigörs kan även tänkas resultera i andra problem. Överbelastning av en process kan bland annat leda till att pH-värdet sjunker med minskad biogasproduktionen och lägre metanhalt som konsekvens (Jarvis och Schnürer, 2009).

I vissa fall används även omrörningen som en metod att kontrollera skumbildning i rötchammaren. Men för att häva kraftig skumbildning krävs vanligtvis väsentligt högre omrörningsintensitet än vad som punkterna ovan kräver för att uppnå god omrörning. Edström m.fl. (2013) beskriver ett fall där omrörarna drevs med denna inriktning. I detta fall tillfördes kycklinggödsel till anläggningen vilket gjorde att skumbildning uppstod. För att kontrollera denna tillsattes skumdämpare och omröraren kördes intensivare än normalt (Jarvis och Schnürer, 2009).

Ett enkelt sätt att verifiera omrörarens funktion är att studera ytan i rötchammaren. Om i princip hela ytan rör sig med en hastighet på minst några cm/s torde omrörningen vara tillräcklig för att undvika

svämtäckesbildning. Vid god omrörning kan det dock finnas små områden invid reaktorväggarna som kan tyckas stå stilla. Inspektion av röt-kammarens yta kräver dels ett gastätt fönster i gasfasen, dels en belysning, helst i ett separat fönster för att undvika reflexer i glaset. Dessutom kommer imma att uppstå på glasytan inne i röt-kammaren, varför det även bör finnas en skrapa eller annan utrustning monterad på insidan av glaset för att ta bort imman.

Ett annat sätt att kontrollera omrörarens funktion är i samband med att röt-kammaren töms. Om det bara finns en mindre mängd sediment på botten är omrörningen tillräcklig.

Faktorer som påverkar elbehov

Elbehovet för omrörning av en rötningssprocess påverkas huvudsakligen av:

- röt-kammarens reologiska egenskaper (viskositet).
- förekomsten av tunga partiklar, dess storlek och densitetsskillnad jämfört mot vätskan de förekommer i.
- förekomsten av fibrer och dess storlek. Partiklarna bidrar till friktion i vätskan och bromsar därmed rörelsen. Detta påverkas av partiklarnas form och storlek (Hjort, 1987).
- om fibrer i tillfört substrat har väsentligt lägre densitet än vätskan i röt-kammaren. Under perioder då nya tillförda fibrer sakta antar samma densitet som vätskan i röt-kammaren kan ökad omrörningsintensitet krävas.
- röt-kammarens konfiguration (relationen mellan höjd och diameter).
- val av omrörare.
- placering av omrörare.
- om det finns bafflar i röt-kammaren som styr flödesriktningen i röt-kammaren.
- operatörens strategier och prioriteringar gällande omrörarens driftinställningar samt operatörens möjlighet att kontrollera omrörningens funktion vid förändringar i driftstrategi.

Design av en röt-kammare och dess omrörningssystem påverkar elbehovet för omrörning. En optimal röt-kammareutformning för toppmonterad omrörare (se Figur 5, alternativ C) är att vätskenivån i tanken ligger på en höjd motsvarande 80 % av tankens diameter, för att minimera elbehovet för omrörning om omröraren placeras centralt i tanken (Scanpump, 2008).

En generell regel är att elbehovet ökar med en stigande viskositet och ett minskande värde på konstanten n i ekvation 1 (Hjort, 1987). Viskositeten påverkar främst designen av omröraren eftersom en högre viskositet vanligtvis kräver en större propeller för att kunna överföra kraften till vätskan (Wikander, 2014). För skjuvtunnande vätskor, som är fallet i denna rapport, blir vätskan mer lättflytande nära propellern p.g.a. att skjuvhastigheten är högre där. Detta kan bidra till att det är god omblandning nära omröraren men näst intill stillastående i periferin, även kallat grottbildning (Hjort, 1987). Effektiv sönderdelning av fiberrika substrat innan rötning är en metod för att minska röt-kammarens viskositet, vilket resulterar i minskat effektbehov för omrörning (Nordberg och Edström, 1997).

Anläggningsägare som deltar i utvärderingsprojektet anger att det som bland annat styr strategin för röt-kammarens omrörningsintensitet är att undvika att röt-kammarens skikt sig, dvs. undvika sedimentation och okontrollerad svämtäckesbildning. Dock vill många anläggningsägare hålla ett tunt svämtäcke för att därigenom effektivisera svavelväteringen (Broberg, 2013). Anläggningsägare anger att det ställer krav på att personalen trimmar in systemet och övervakar att svämtäcket bibehålls tunt så att det inte växer till sig för mycket. I projektet har denna förmåga kallats för ”kontrollerad svämtäckesbildning”. Att förhindra sedimentation anges också vara en stor utmaning för anläggningsägaren eftersom de flesta gårdsbiogasanläggningar idag saknar möjlighet att övervaka om sedimentation sker.

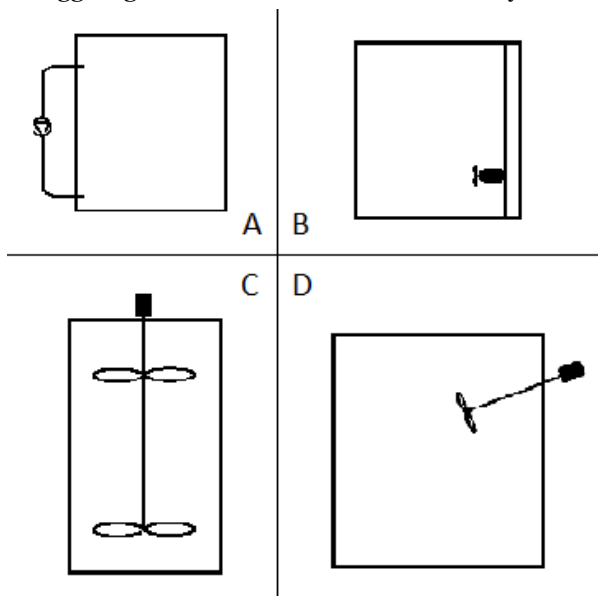
Olsson m.fl. (2014) och Edström m.fl. (2013) har visat att fasta substrat som hästgödsel och djupströbädd kan innehålla betydande mängder grus och sten som kan sedimentera i en rötchammare. En del av detta material kan i vissa fall skiljas av i förbehandlingen av substratet och en del kan i vissa fall följa med rötresten ut ur rötchammaren (se Figur 4). Men det är även vanligt att stora mängder grus sedimenterar ut i rötchammaren.



Figur 4. Exempel på grus som påträffats i rötresten som lämnat en rötchammare i projektet.

Typen av omrörare

De typer av omrörare som finns med i detta projekt har delats in i fyra grupper. Dessa grupper är pumpomrörare, dränkbar propelleromrörare, toppmonterad propelleromrörare och sidomonterad propelleromrörare. Figur 5 visar en principskiss över de fyra omrörartyperna. Det är vanligt att anläggningar har kombinationer av dessa fyra huvudtyper.



Figur 5. Omrörartypen som studerats i denna rapport: A) Pumpomrörare, B) Dränkbar propelleromrörare, C) Toppmonterad propelleromrörare och D) Sidomonterad propelleromrörare.

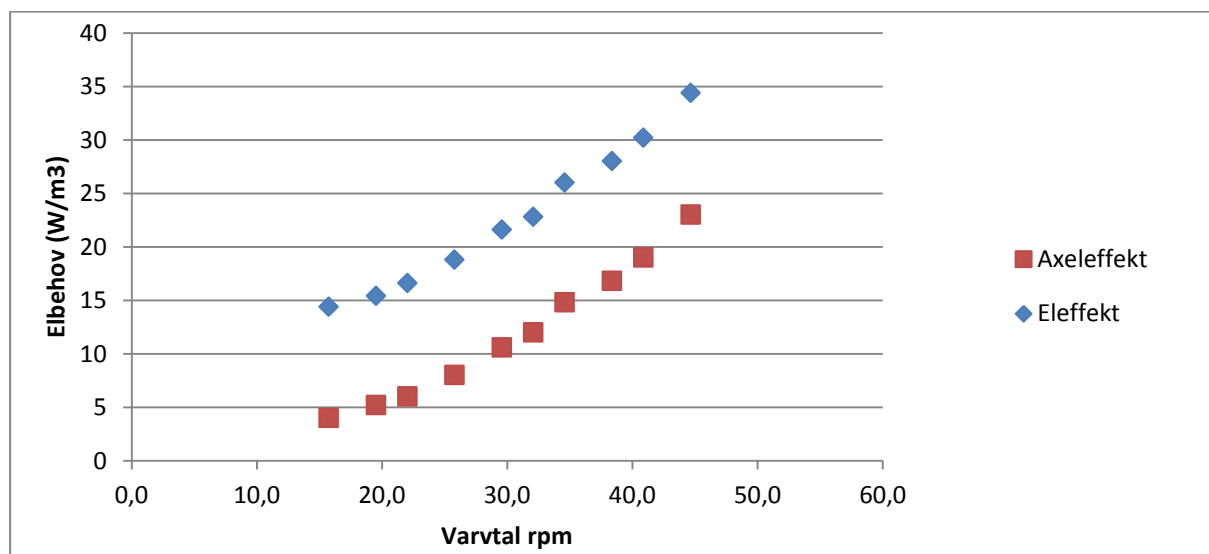
Det är vanligt att ha en sidomonterad omrörare tillsammans med en dränkbar omrörare eller pumpomrörare. De dränkbara omrörarna är vanliga som eftermonterade system där det upptäckts att det behövs en utökad omrörarkapacitet. Pump-, sido- och dränkbara omrörare har, jämfört med toppmonterade omrörare, fördelen att de även går att montera i biogasanläggningar med en enklare takkonstruktion eller membrantak. Den toppmonterade omröraren kräver en kraftigare fast takkonstruktion.

tion som kan bära upp omröraren och dess vridmoment. Den toppmonterade omröraren passar även bättre i höga tankar jämfört med låga och breda. Detta gör att den toppmonterade omröraren i många fall av praktiska skäl väljs bort.

De vanligaste sätten att reglera omrörningsgraden är antingen genom att reglera varvtalet eller gångtiden för omrörarna. Varvtalet regleras via frekvensomriktare. Gångtiden varierar vanligtvis med hjälp av en timerfunktion där anläggningsägaren bestämmer hur länge och ofta omröraren skall köras. Det förekommer alla varianter, från att omröraren endast drivs en gång per dag till att den slås av och på med några minuters mellanrum. Det förekommer även varianter med både tidsstyrning och reglering av varvtal. I dessa fall kan omröraren styras genom att den under en period drivs med ett högt varvtal för att därefter gå ner till ett lägre varvtal.

Litteraturuppgifter om elbehov för omrörning

Med en kraftigare omrörningsintensitet stiger elbehovet och detta är en viktig designparameter (Kars-Jordan och Hiltunen, 2007). Elbehovet ökar snabbare än vad rörelsen på ytan ökar. Att gå från svag rörelse på ytan (ca 8 cm/s) till synlig rörelse (ca 12 cm/s) ökar elbehovet med upp till 6 gånger. Figur 6 visar hur axeleffektbehovet respektive eleffektbehovet varierar som funktion av varvtalet på en toppmonterad omrörare för en liten röt-kammare med 5 m³ aktiv volym. Rörelse på ytan infann sig vid ett varvtal på ungefär 20-22 rpm. Om varvtalet dubblas från 20 rpm till 40 rpm ökar axeleffektbehovet drygt tre gånger. Tas även hänsyn till förluster i motor och växellåda leder detta till att elbehovet dubblas när varvtalet ökar från 20-40 rpm. Det skall dock påpekas att detta är en väldigt liten röt-kammare, vilket gör att förlusterna inte behöver vara representativa för en fullskaleanläggning.



Figur 6. Effektbehov (för propelleraxel samt elmotor som driver propeller) som funktion av varvtalet på omrörare för en röt-kammare med en volym på 5 m³ (baserad på Nordgren, 2014).

Tabell 1 visar en sammanställning över litteraturvärden från ett antal olika gårdsbiogasanläggningar. Elbehovet i sammanställningen presenteras som Wh/h och m³. Det skall noteras att detta är ett dygnsbaserat medelvärde som inkluderar att vissa anläggningars omrörare drivs intermittent, dvs. omrörarna är bara i drift periodvis, resterande tid står de stilla. Elbehovet har varierat mellan 1 och 13 Wh/h och m³ för gårdsbiogasanläggningar. Dessa siffror kan jämföras med en ögonblicksbild av en tysk pilotanläggning vid DBFZ i Leipzig. DBFZ har två identiska pilotröt-kammare på 190 m³ aktiv volym vardera. Den ena drevs i skrivande stund vid en TS-halt på ca 11 % och hade ett specifikt elbehov på ungefär 6,5 Wh/h och m³. Den andra hade en TS-halt på ca 7 % och ett elbehov på 4,9 Wh/h och m³

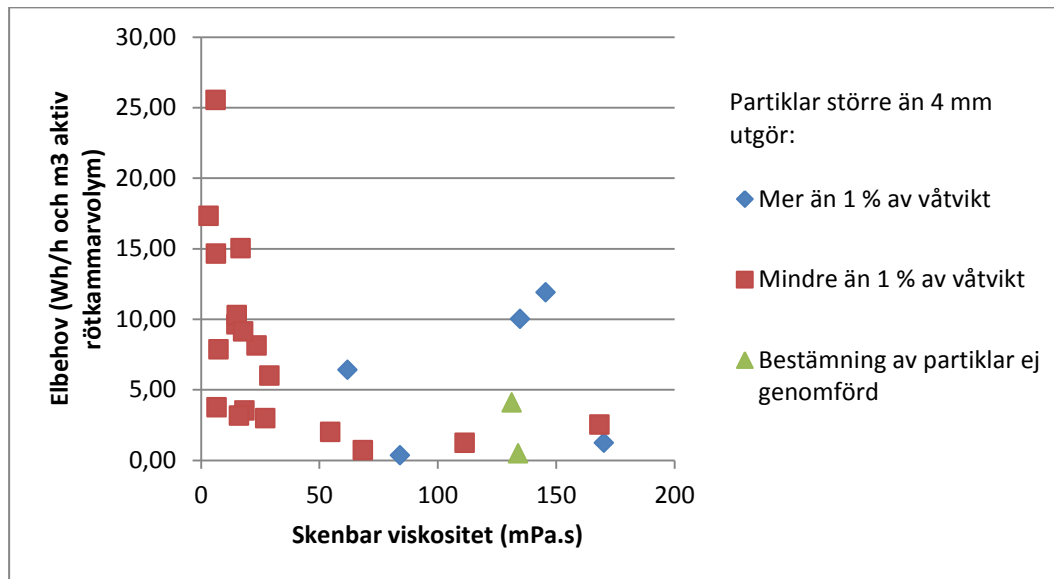
(Fischer, 2014). Siffrorna stämmer även väl med Eder och Schulz (2007) som anger att elbehovet för omrörning för en gödselanläggning med en viss andel samrötningssubstrat bör ligga på ungefär 0,4-4,2 Wh/h och m³. Motsvarande värde för anläggningar baserade på energigrödor anger Eder och Schultz (2007) bör vara ungefär 4,2-21 Wh/h och m³.

Tabell 1. Ungefärligt elbehov för omrörning vid tre olika gårdsbiogasanläggningar.

Gård	TS-halt	Rötkammar-volym (m ³ _{aktiv})	Elbehov Wh/h och m ³	Referens
Hagavik	Ca 7 %	450	7,5	Brown m.fl. (2010)
Stomen	--	90	5,6	Gustavsson och Ellegård (2004)
Sötåsen (nötflyt- och kycklinggödsel)	Ca 8 %	260	8	Edström m.fl. (2013)
Sötåsen (nötflytgödsel och djupströbbädd)	Ca 8 %	260	11	Edström m.fl. (2013)
Sötåsen (Nötflytgödsel och Hästgödsel)	Ca 8 %	260	13	Olsson m.fl. (2014)
BMP04 (Tyskland)	--	2x 1 100	2,2	FNR (2005)
BMP16 (Tyskland)	--	692+905	4,7	FNR (2005)
BMP42 (Tyskland)	--	622+1 106	1,0	FNR (2005)
BMP44 (Tyskland)	--	622+847	3,5	FNR (2005)
BMP45 (Tyskland)	--	804	6,5	FNR (2005)
BMP46 (Tyskland)	--	2x 789	5,6	FNR (2005)

Resultat från kartläggning av elbehovet för omrörning

Figur 7 visar ett beräknat medelvärde för elbehov för omrörning av gårdsanläggningars röt-kammare mot skenbar viskositet vid en skjuvhastighet på 60 s^{-1} . Anläggningarna är även indelade efter andelen partiklar större än 4 mm som finns i röt-kammarinnehållet, se Figur 2. De anläggningar som har högst elbehov för omrörare har en förhållandevis låg viskositet samt en låg andel partiklar. Det fanns anläggningar med ett elbehov på 15-25 Wh/h och m^3 med en skenbar viskositet som var under 50 mPa.s, vilket är högt jämfört med vad som angivits i tidigare studier (se Tabell 1).

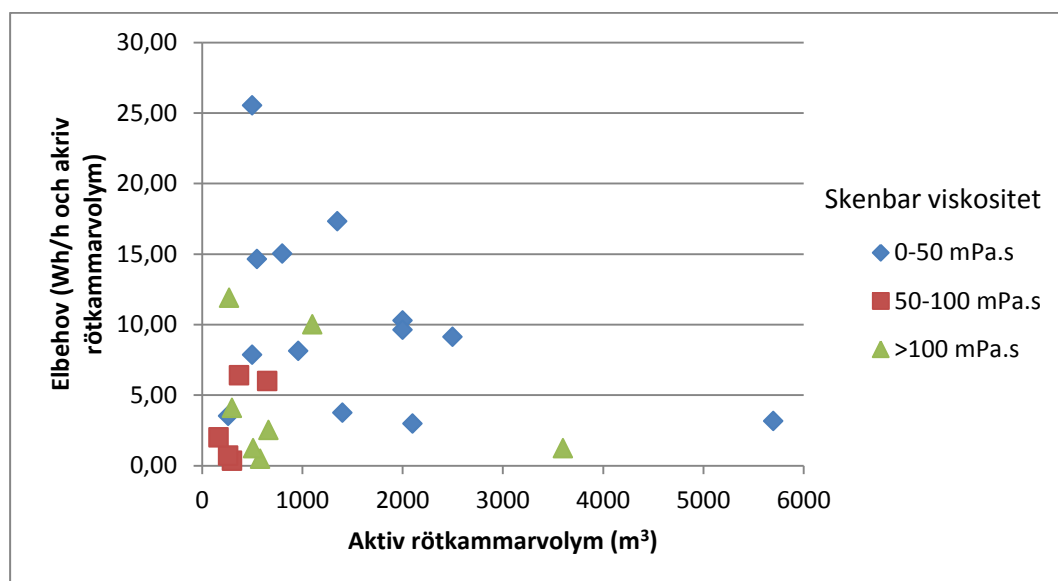


Figur 7. Elbehov för omrörning plottat mot skenbar viskositet vid en skjuvhastighet på 60 s^{-1} (Nilsson, 2014).

Bland de anläggningar som har en skenbar viskositet över 50 mPa.s finns det ingen som har ett specifikt elbehov på mer än 12 Wh/h och m^3 , och endast två som är över 10 Wh/h och m^3 . Resultaten i Figur 7 visar på en stor spridning i elbehovet för omrörning hos de anläggningar som deltar i projektet. Anmärkningsvärt är att det är de anläggningar med lägst skenbar viskositet som har störst elbehov för omrörning. Alla anläggningar med låg skenbar viskositet och högt elbehov har även en låg andel större partiklar, vilket också är anmärkningsvärt. Resultaten presenterade i Figur 7 visar att det är en stor andel av biogasanläggningarna i detta projekt som har ett omotiverat högt elbehov för omrörning i förhållande till viskositet och förekomsten av partiklar i röt-kammarinnehållet. Förklaringen till det höga elbehovet bör därför sökas i designen av röt-kammaren, val av omrörare och handhavande.

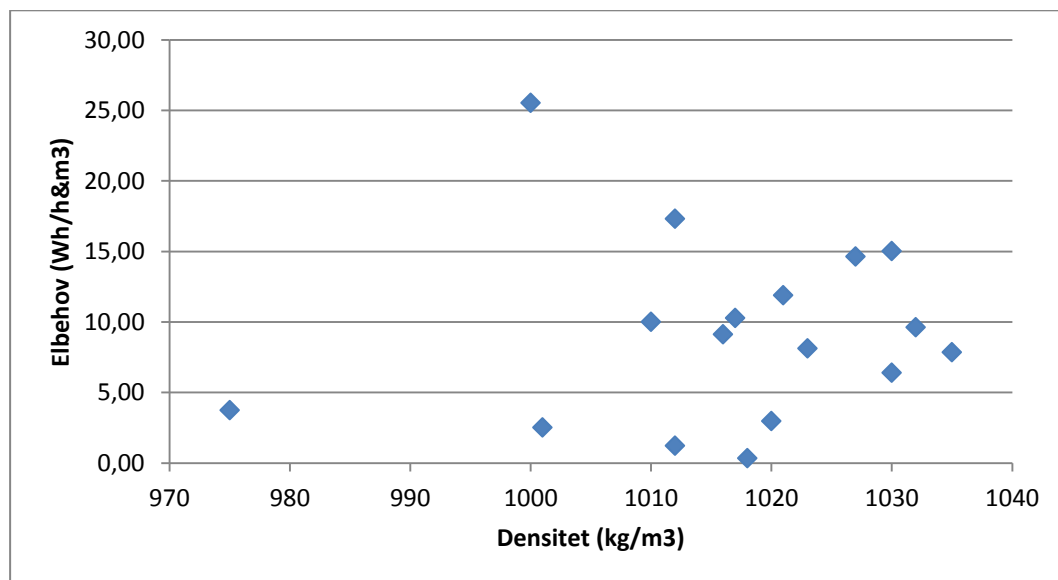
Vad gäller design undersöktes om storleken på röt-kammaren har en avgörande betydelse för vilket elbehov omrörarsystemet har. Figur 8 visar elbehov i förhållande till röt-kammarens storlek. Även i detta fall är det svårt att se några avgörande samband. Det finns både stora och små anläggningar med ett förhållandevis lågt elbehov för omrörarna. Spridningen i energiförbrukning minskar med storleken på anläggningarna, och samtliga större röt-kammare har ett lågt elbehov för omrörning. Att stora röt-kammare verkar ha lågt elbehov för omrörning kan dels bero på att relationen mellan höjd och diameter på röt-kammaren är mer optimal vid stora anläggningar för energieffektiv omrörning, dels att det lagts ner mer resurser på design av omrörarsystemet för de större anläggningarna. Det skall dock noteras att det bara finns 2 st. stora anläggningar i denna studie, varför underlaget är för litet för att

kunna dra säkra slutsatser. Det skall även noteras att de anläggningar där allra lägst elbehov för omrörning rapporterats, utgörs av små rötktammare. Dessa rötktammare har timerstyrd omrörning där omröraren körs under en väldigt kort period varje dag.



Figur 8. Rötktammarvolymens inverkan på elbehovet för omrörning (Nilsson, 2014).

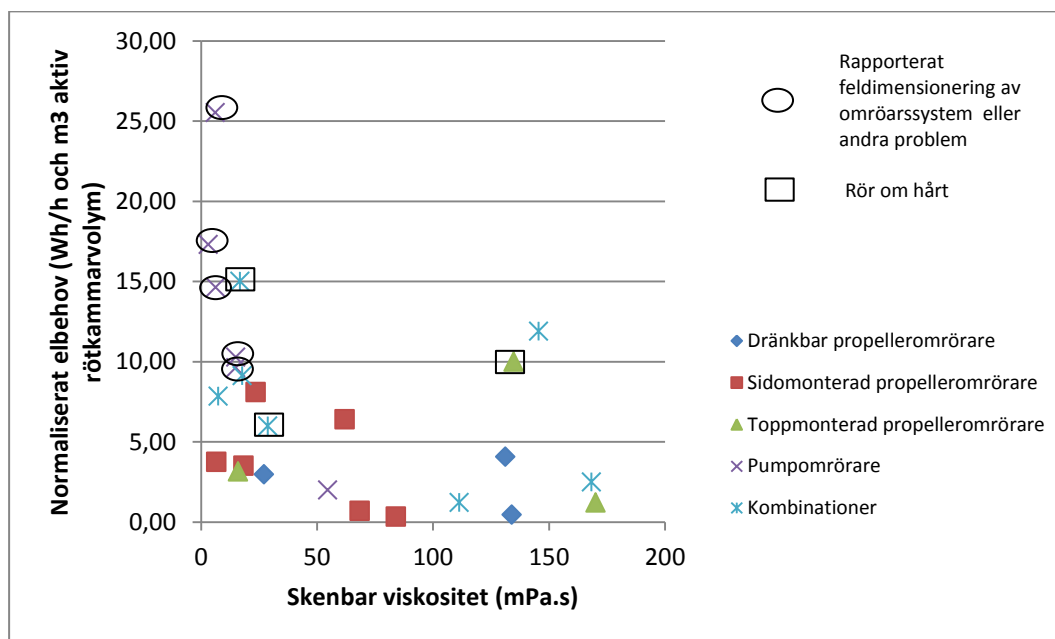
Densiteten är en parameter som påverkar designen av omrörare och elbehovet vid drift. I denna studie har densitet för rötktammarinnehållet uppmätts och relaterats till elbehovet för omrörning. Det har dock inte gått att finna något samband mellan densitet och elbehov, se Figur 9. Detta kan tolkas som att det är andra parametrar som har större inverkan än densiteten på elbehovet. Denna tolkning ligger i linje med tolkningen av Figur 7, att det är andra parametrar än viskositet och partikelförekomst som varit avgörande för elbehovet i denna studie.



Figur 9. Densitetens inverkan på elbehovet.

Inom projektet samlades även data rörande vilka typer av omrörare som anläggningarna hade samt om de upplevt problem relaterat till omrörning. Vidare har även rådgivarna gjort en bedömning av om vissa anläggningar har en kraftigare omrörning än de övriga i projektet. Figur 10 visar elbehovet i

förhållande till skenbar viskositet, där data är uppdelad på vilka omrörarsystem som används. De anläggningar som uppfattar sig ha problem med eller begränsas av sitt omrörarsystem har markerats med en cirkel. För att kunna se effekten av driftansvariges strategi för inställning av omrörningsintensiteten, har även de anläggningar som av rådgivaren bedömts ha en kraftigare omrörning än normalt markerats med en fyrkant. Vad som kan anses som god omrörning är en svår fråga, men i detta projekt har detta definierats som att anläggningen har ett tunt svämtäcke eller endast lätt rörelse på ytan.



Figur 10. Typer av omrörare och om anläggningsägaren rapporterat driftproblem relaterat till omrörningssystemet, samt de anläggningar som bedöms ha en kraftigare omrörning än vad som bedömts vara normalt (Nilsson, 2014).

Flerparten av de anläggningar som har låg viskositet i röttkammaren och samtidigt har ett högt elbehov, har upplevt att de har problem med sina omrörare. Ett antal av dessa anläggningar har även valt bort substrat med hög TS-halt som t.ex. fastgödsel. En av anläggningarna avvattnar till och med den flytgödsel som de beskickar röttkammaren för att undvika problem med bildning av svämtäcke. Figur 7 och Figur 10 visar att elbehovet för omrörning inte behöver vara högre än 5 Wh/h och m³ för en röttkammare med ett väl designat omrörarsystem och de gödselblandningar som rötats inom detta projekt.

Det går även att se att alla anläggningar som bedömts ha en kraftigare omrörning också har ett högre elbehov än 5 Wh/h och m³. Detta stämmer väl med teorin att graden av omrörning har stor inverkan på elbehovet. Det finns anläggningar som rapporterat att de har problem med sedimentation av kärnor från helsädesensilage och majsensilage i pump- och blandningsbrunnar. Av dessa anläggningar finns det exempel som "rör om lite extra" för att inte riskera sedimentation i röttkammaren.

Ett flertal av de anläggningar som har en låg förbrukning har ett omrörningssystem som idag inte körs för fullt. Detta gör att de vågar ha en låg grad av omrörning i form av ett lågt varvtal eller få driftstimmor på omrörarna, då de litar på att ett eventuellt svämtäcke går att bryta genom ökad omrörning.

Slutsatser och diskussion

Samtliga viskositetsanalyser i detta projekt visar på skjuvtunnande egenskaper. Den skenbara viskositeten vid skjuvhastigheten 60 s^{-1} varierade från 5 till $170 \text{ mPa}\cdot\text{s}$.

Ett flertal anläggningar har rapporterat problem med sina omrörningssystem eller varit tvungna att anpassa substratblandningen utifrån vad systemet klarar av. Detta syns även i resultaten från kartläggningen. Det är en betydande andel av anläggningarna som har en hög energiförbrukning jämfört med litteraturvärden och andra jämförbara anläggningar i undersökningen.

Ett elbehov mycket över 10 Wh/h och m^3 kan anses som högt i denna undersökning. Figur 7 och Figur 10 visar att elbehovet för omrörning inte behöver vara högre än 5 Wh/h och m^3 för en rötchammare med ett väl designat omrörarsystem och de gödselblandningar som rötats inom detta projekt. Ett flertal av de anläggningar som har ett högt elbehov och låg skenbar viskositet har uppgett att de måste välja bort fasta substrat för att deras omräkningssystem annars inte klarar av att totalomblanda rötchammaren. Utifrån dessa resultat dras slutsatsen att en stor andel av de biogasanläggningar som är med i projektet har omrörarsystem som är kraftigt underdimensionerade för den substratblandning som ägarna önskar driva anläggningen med. Detta belyser vikten av att i projekteringsläget för en gödselrötningsanläggning ställa krav på att designen av omrörarsystemet görs utifrån möjligheten att röta blandningar med hög viskositet.

För en biogasanläggning med 500 m^3 aktiv rötningsvolym innebär ett minskat elbehov för omrörning med 5 Wh/h och m^3 att behovet av processelektricitet för att driva anläggningen sjunker med ca $22\,000 \text{ kWh/år}$. Det är en betydande kostnadsbesparing för en biogasanläggning av denna storlek, vilket belyser vikten av ett väldimensionerat omrörarsystem och en välavvägd driftsstrategi. Studien belyser vikten av att ställa krav på funktion och elbehov vid upphandling av omrörarsystemet till en biogasanläggning.

Utifrån underlaget och omfattningen av denna studie är det svårt att ge rekommendationer för vilka typer av omrörare som har bäst prestanda. De olika principerna för omrörning har olika fördelar och begränsningar utöver elbehovet. Det är dock ett antal anläggningar med pumpomrörning som utmärkt sig genom att samtliga haft undermålig prestanda, enligt ägarna. Samtidigt finns det några anläggningar som är nöjda med sin pumpomblandning.

Vad gäller designen av omrörarsystem verkar det vara en fördel om systemet är väl tilltaget i kapacitet. Det gör att operatören kan optimera omrörningen genom att ha en låg omrörningsintensitet och samtidigt känna sig trygga i att eventuella problem i form av t.ex. svämtäcke går att häva.

Omrörning av rötchammaren är en nyckelfunktion i en biogasprocess, som kan bidra till en bra kontroll på rötningsprocessen. Felaktig design och driftsstrategi av rötchammarens omrörare kan bidra till onödigt stort behov av processelektricitet, och därmed försämrade anläggningsekonomi. De ekonomiska konsekvenserna kan dock bli vida mycket större om omröraren inte klarar av att hålla rötchammaren totalomblandad eftersom detta kan leda till minskad biogasproduktion, instabilitet i rötningsprocessen, omrörarhaverier, tömning av rötchammare och andra akuta insatser. För att få större förståelse för omrörarnas funktion vid gårdsbaserade biogasanläggningar föreslås följande framtida studier:

- Undersöka huruvida utflödespunkten i rötkammaren påverkar uppbyggnad av sediment och svämtäcke i rötkammaren.
- Undersöka huruvida justeringar i substratsammansättningen som rötas kan minska elbehovet för omrörning av rötkammaren.
- Fortsatta mätningar av elbehov för omrörning av rötkammare och kommunikation av nyckeltal mellan anläggningsägarna.
- Optimeringsstudier för de omrörartekniker som finns installerade på gårdsanläggningarna, för att fastställa vilka undre nivåer på specifikt elbehov som kan uppnås samtidigt som god omrörning vidmakthålls.
- Utveckla sensorer som identifierar uppbyggnad av bottensediment och svämtäcke i rötkammaren.

Rekommendationer

Utifrån detta projekts resultat samt tidigare erfarenheter inom området ges följande rekommendationer:

- Rötchammare ska vara så designade att det okulärt går att inspektera ytrörelserna vid omrörning.
- Rötchammare ska vara så designade att det vid behov intensivt går att bearbeta uppkomna svämtäcken eller bottensediment. Omrörarintensiteten i rötchammaren skall gå att reglera genom frekvensstyrning av omrörarna och/eller via inställning av intermittent drift.
- Vid upphandling av en biogasanläggning bör separata krav ställas på funktion samt att garantier ges avseende elbehov för omrörning för det substrat som skall rötas.
- Biogasanläggningens rötchammaromrörare bör vara försedd med en separat elmätare. Förslagsvis följer driftspersonalen upp omrörarens specifika elbehov en gång per månad.
- Att det fastställs hur elbehovet för omrörning förändras om propellervarvtalet minskas alternativt ökas med "10 %" (motsvarar förändring av frekvensen med 5 Hz).
- Personal som sköter röttningsprocessen skall kontinuerligt inspektera ytrörelserna vid omrörning.
- Att anläggningsägaren ställer upp mål för rötchammarens specifika elbehov för omrörning och fastställer en arbetsmetod för att uppnå målet.
- Vid upphandling ska man ha i åtanke att en biogasanläggning har en lång teknisk livslängd, och att det troligtvis kan bli aktuellt att under denna tid öka mängden fasta substrat som rötas för att öka biogasproduktionen. Det valda omrörningssystemet bör inte utgöra en begränsning för att kunna genomföra dessa modifieringar av driftsstrategi.

Referenser

- Broberg A 2013. Metoder för Svavelvätereducering. Rapport i projektet ”Utvärdering av biogasanläggningar på gårdsnivå”. Bioenergiportalen.se. Hushållningssällskapet.
- Brown N, Edström M, Hansson M, Algerbo P-A (2010) Utvärdering av gårdsbiogasanläggning med mikroturbin för kraftvärmeproduktion. JTI – rapport 46, Kretslopp & Avfall. JTI – Institutet för Jordbruks- och miljöteknik. Uppsala.
- Eder B, och Schultz H. 2007. Biogas-Praxis: Grundlagen, Planung, Anlagenbau, Wirtschaftlichkeit, Beispiele. ISBN-10: 3936896135
- Edström M, Ascue J, Olsson H, Rogstrand G, del Pilar Castillo M, Nordber Å, Schnürer A, Persson P-O, Andersson L, Bobeck S, Assarsson A, Benjaminsson A, Jansson A, (2013) Rötning av fastgödsel vid Sötåsens gårdsanläggning. Slutrapport, projekt nr V1040066 till Stiftelsen Lantbruksforskning.
- Fischer E 2014. Deutsche Biomasseforschungszentrum (DBFZ). Tyskland. Personlig kommunikation.
- FNR, 2005, Ergebnisse des Biogas Messprogram. Fachagentur Nachwachsende Rohstoff e.V. Gülzow, Tyskland.
- Ganidi N, Tyrrel S, Cartmell E. 2009. Anaerobic digestion foaming causes – A review. Bioresource Technology, Volume 100, issue 23, Page 5546-5554.
- Gustavsson M, Ellegård A (2004) Stommens biogasanläggning. JTI – rapport 30, Kretslopp & Avfall. JTI – Institutet för Jordbruks- och miljöteknik. Uppsala.
- Hjort S., 1987. Tidsfaktorn väsentlig vid omrörning. Kemisk Tidskrift nr 2. Stockholm.
- Jarvis Å. och Schnürer A. 2009. Mikrobiologisk handbok för biogasanläggningar. SGC Rapport 207.
- Kars-Jordan F och Hiltunen P. 2007. Agitation Handbook, KTH Industrial Engineering and Management, Machine Design, Stockholm
- Nilsson L. 2014. Utvärdering av viskositet och omrörningsmetoder vid gårdsbiogasanläggningar – Analyser och datainsamling. Examensarbete. Yrkeshögskolan Hallsberg.
- Nordberg Å, Edström M, Pettersson C-M, Thyselius L. 1997. Samrötning av vallgröda och källsorterat hushållsavfall. JTI – rapport 13, Kretslopp & Avfall. JTI – Institutet för Jordbruks- och miljöteknik. Uppsala.
- Nordberg Å, Edström M. 1997. Optimering av biogasprocess för lantbruksrelaterade biomassor. JTI – rapport 11, Kretslopp & Avfall. JTI – Institutet för Jordbruks- och miljöteknik. Uppsala.
- Nordgren P. 2014. Utvärdering av viskositet och omrörningsmetod vid olika gårdsbiogasanläggningar. Examensarbete. KTH. Kemiteknik.
- Olsson H, Andersson J, Rogstrand G, Edström M, Persson P-O, Andersson L, Bobeck S, Assarsson A, Benjaminsson A, Jansson A, Alexandersson L, Thorell K (2014) Samrötning av hästgödsel med

nötflytgödsel - Fullskaleförsök vid Naturbruksgymnasiet Sötåsen. JTI – rapport 51, Kretslopp & Avfall.
JTI – Institutet för Jordbruks- och miljöteknik. Uppsala.

Scanpump 2008. Agitation Handbook. Scanpump AB. Mölndal.

Wikander G. 2014. Area Sales Manager, Industry. Sulzer Pumps Sweden AB. Personlig kommunikation.