



CHALMERS

Driftmöjligheter för rötning av avloppsslam

Jämförelse av mesofila och termofila temperaturer

Kandidatarbete inom Samhällsbyggnadsteknik

ERIK BRISSMAN
ELIN JOHANSSON
LEO ÅKESSON
MIRA GEIGER
SIBEL BASARAN

INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2024
www.chalmers.se

Sammanfattning

Biogasproduktionen har blivit alltmer betydande som en hållbar energikälla och ökar ständigt i Sverige. För att möta den växande efterfrågan på biogas krävs det att den svenska biogasproduktionen ökar och att befintliga anläggningar optimeras för att öka effektiviteten. En potentiell metod för att förbättra effektiviteten hos biogasanläggningar är övergången från mesofil rötning, vanligtvis mellan 25-40 °C, till termofil rötning, utförd vid högre temperaturer mellan 50-60 °C. Termofil rötning anses dock ofta ha fler driftproblem än mesofil rötning. Denna studie syftar till att utföra en jämförande analys av drifterfarenheter och effektiviteten mellan mesofil och termofil rötning för biogasproduktion, med fokus på svenska avloppsreningsverk.

Genom en kombination av enkätstudier och intervjuer med representanter från avloppsreningsverk som använder avloppsslam för biogasproduktion, samt genom beräkningar av energieffektivitet, undersöks fördelarna och nackdelarna med övergången till termofil rötning. Resultaten av studien indikerar att termofil rötning generellt sett är mer effektivt än mesofil rötning, med en ökad biogasproduktion på grund av den kortare uppehållstiden. Trots att termofil rötning kan innebära vissa driftproblem, visar slutsatserna från studien att övergången till termofil drift är mer lönsam ur ett energieffektivitetsperspektiv.

Nyckelord: Biogasproduktion, Mesofil rötning, Termofil rötning, Effektivitetsjämförelse, Avloppsreningsverk, Drifterfarenheter

Abstract

Title: *Operational Opportunities for Sewage Sludge Digestion: A Comparison of Mesophilic and Thermophilic Temperatures*

The biogas production has become increasingly significant as a sustainable energy source and is constantly growing in Sweden. To meet the growing demand for biogas, it is necessary for Swedish biogas production to increase and existing facilities need to be optimized to enhance efficiency. A potential method for improving the efficiency of biogas facilities is transitioning from mesophilic digestion, typically occurring between 25-40 °C, to thermophilic digestion, conducted at higher temperatures between 50-60 °C. However, thermophilic digestion is often considered to present more operational challenges than mesophilic digestion. This study aims to conduct a comparative analysis of the operating characteristics and efficiency between mesophilic and thermophilic digestion for biogas production, focusing on Swedish wastewater treatment plants.

Through a combination of questionnaire surveys and interviews with representatives from wastewater treatment plants utilizing sewage sludge for biogas production, along with efficiency calculations, the advantages and disadvantages of transitioning to thermophilic digestion are examined. The results of the study indicates that thermophilic digestion is generally more efficient than mesophilic digestion, resulting in increased biogas production due to the shorter retention time. Despite the potential operational challenges associated with thermophilic digestion, the conclusions of the study suggest that transitioning to thermophilic operation is more profitable from an energy efficiency perspective.

Keywords: Biogas production, Mesophilic digestion, Thermophilic digestion, Efficiency comparison, Wastewater treatment plants, Operational experiences

Förord

Denna rapport är ett kandidatarbete inom institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik på Chalmers tekniska högskola. Rapporten omfattar 15 högskolepoäng och vi som har skrivit denna rapport läser till civilingenjörer inom samhällsbyggnadsteknik, kemiteknik och kemiteknik med fysik. Vi vill rikta ett stort tack till alla som bidragit till denna rapport.

Tack till

Qing Zhao och Kajsa-Stina Ohlström- för att ni ställt upp på intervju

Ola Fredriksson- för att du delat med dig av kontaktuppgifter på personer som var villiga att delta i enkäten och din kunskap inom ämnet

August Sandell och Mohammad Taleb Attar- för ett gott samarbete vid skapandet av enkäten

Alla som deltagit och svarat på enkäten

Vi vill även rikta ett extra stort tack till vår handledare Oskar Modin för all hjälp och handledning.

Begreppslista

Avvattnat slam - Slam där vattenmängden har reducerats för att uppnå mindre volym.

Biogas - Slutprodukten från rötningsprocesser är en förnybar energikälla som till exempel kan användas för uppvärmning eller drivmedel.

Driftproblem - Störningar som försvårar eller stannar upp driften, till exempel lukt och skumning.

Mesofil rötning - Rötning vid drifttemperatur mellan 25 till 40 °C.

Rötkammare - En sluten behållare i vilken substratet rötas till biogas.

Rötrest - Rötresten är överblivet, svårnedbrytbart material som inte rötats under rötningsprocessen.

Skumning - Sker när skum bildas i rötkammaren.

Substrat - Substans som rötas i rötkammaren, i reningsverk används främst avloppsslam som substrat.

Termofil rötning - Rötning vid drifttemperatur mellan 50 till 60 °C.

TS - Står för torrsubstans och den torra delen av substratet.

Utrötningsgrad - Andelen organiskt material som avlägsnats under rötningsprocessen.

VS - Står för volatile solids. Det används för att bestämma slammets organiska halt.

Innehåll

1	Introduktion	1
1.1	Problembeskrivning	2
1.2	Syfte	2
1.3	Avgränsningar	3
1.4	Samhälleliga och etiska aspekter	4
1.4.1	Enkät- och intervjukonfidens	4
1.4.2	Informationshantering	4
1.4.3	Energieffektiv process och ekologiska effekter	4
1.4.4	Förändrad arbetsmiljö	5
2	Teori	6
2.1	Avloppsreningsverk	6
2.1.1	Biogasproduktion	6
2.1.2	Användning av substrat för biogasproduktion	7
2.1.3	Uppehållstid	7
2.1.4	Temperaturintervall	7
2.1.5	Avvattning av avloppsslam	8
2.2	Drifterfarenheter	8
2.2.1	Lukt	8
2.2.2	Skumning	9
2.2.3	Övriga parametrar	9
2.3	Energibalans	10
2.3.1	Energi till processen	10
2.3.2	Energikrävande komponenter	10
2.3.3	Ekologiska konsekvenser	10
3	Metod	12
3.1	Metodval	12
3.1.1	Utformning av enkätfrågor	13
3.1.2	Utformning av intervjufrågor	13
3.1.3	Urval	14

3.2	Bearbetning av insamlad data	14
3.2.1	Beräkning av enkätsvar	15
3.2.2	Antaganden vid analys av insamlad data	17
4	Resultat	19
4.1	Enkätsvar	19
4.1.1	Termofila och mesofila anläggningars biogasanvändning	22
4.1.2	Respondenternas uppfattning av drifterfarenheter	23
4.2	Intervjusvar	27
4.2.1	Omställningsprocessen	27
4.2.2	Temperaturhantering	27
4.3	Beräkningsresultat	27
5	Diskussion	31
5.1	Resultatdiskussion	31
5.1.1	Skillnad i uppehållstid	31
5.1.2	Skillnad i lukt- och skumningsproblem	32
5.1.3	Skillnad i metan- och biogasproduktion	33
5.1.4	Omställning från mesofil till termofil rötning	35
5.2	Metoddiskussion	35
6	Slutsats	38
6.1	Framtida studier	38
A	Appendix A	43
A.1	Enkät	43
A.2	Intervjufrågor	46
A.2.1	Karlstad anläggning	48
A.2.2	Kalmar anläggning	48

1 Introduktion

Biogas är ett drivmedel att föredra från en hållbar synvinkel. Det är helt förnybart och öppnar upp möjligheten att drastiskt minska utsläpp av växthusgaser [1]. Tidigare har kommuner varit ledande i drivandet av biogasanvändningen i Sverige, men på senare år har fler privata aktörer engagerat sig på marknaden. Bränslet har därför blivit mer aktuellt för samhället i helhet och är idag centrumet av många viktiga diskussioner. Reningsverk där avloppsslam utnyttjas för att producera biogas blir därmed högst relevanta. Att finna metoder som maximerar utvinningen och att undersöka svenska reningsverks möjligheter att applicera metoderna är förhoppningsvis en samhällsnytta som detta arbete kan bidra till.

Idag finns 284 biogasanläggningar utspridda runt om i Sverige, varav 133 är på avloppsreningsverk [2]. Nästan hälften av alla svenska biogasanläggningar är på avloppsreningsverk och år 2022 stod de för ungefär 31 % av landets totala biogasproduktion. Den totala produktionen av biogas var 2279 GWh vilket räckte till hälften av den totala biogasanvändningen varav andra hälften importerades. I framtiden förväntas efterfrågan på biogas i Sverige att öka till följd av omställningen mot ett fossilfritt samhälle [3]. Detta innebär att produktionen av biogas inom landet behöver expanderas och effektiviseras för att möta den växande efterfrågan. Om efterfrågan på biogas ökar kräver detta att produktionen är energieffektiv. Enligt Sveriges generationsmål behöver produktioner vara resurseffektiva för att kunna lämna över ett hållbart samhälle till nästa generation [4]. Det blir därmed viktigt att effektivisera processen för biogasutvinning.

Produktionen av biogas i Sverige idag sker till största del med mesofil rötning [5], en rötning vid lägre temperaturer omkring 25-40 °C [6]. Ett sätt att effektivisera produktionen av biogas är att ställa om de befintliga mesofila produktionerna till en produktion vid högre termofila temperaturer omkring 50-60 °C. Omställningen ger en ökad biogasproduktion med en minskad uppehållstid, vilket resulterar i en mer effektiv process.

Trots en lägre biogasutvinning anses mesofil rötning i allmänhet vara det mer stabila alternativet då det är mindre driftkänsligt för temperaturvariationer samt avvikande halter av ämnen [7]. Däremot kan även en omställning eventuellt leda till en ökad biogasproduktion med ett mer hygieniskt slam [7]. Detta leder till en större potential för återföring av näringsämnen till jordbruket. Denna omställning förväntas därför att ge en positiv effekt över tid. Följande rapport

kommer att ta upp skillnader på mesofil och termofil rötning för att undersöka om mesofil produktion är mer stabilt eller om fler anläggningar borde överväga att ställa om.

1.1 Problembeskrivning

Om företag och kommuner ska ställa om sin biogasproduktion från mesofila förhållanden till termofila är det viktigt att undersöka eventuella problem och identifiera potentiella begränsningar. En analys av flera befintliga anläggningar kan ge en inblick i vilka problem som uppkommer frekvent och möjligtvis vilka som utgör ett större framtida hinder för anläggningar som överväger att ställa om. Analysen av anläggningar kommer utföras genom en kombination av enkätstudier och intervjuer med personer som är verksamma vid olika typer av anläggningar, samt genom beräkningar av energieffektivitet.

En ökad drifttemperatur kan medföra flera olika utmaningar som undersöks i denna rapport, bland annat kan relationen mellan den nyttjade energin i biogasen och energiförbrukning påverkas [6]. Termofil rötning anses dessutom vara mer känslig för temperaturvariationer, ämnen som kan störa processen och stabiliteten hos rötningen. På grund av dessa antaganden väljer många anläggningar att producera biogas vid mesofila temperaturer, vilket det historiskt sett även finns mest kunskap om i drift. Denna rapport kommer att undersöka om termofil rötning medför dessa utmaningar i praktiken samt i vilken utbredning. Därmed studeras om det finns ett syfte med att ställa om till en drifttemperatur som hade medfört högre biogasproduktion trots större väntade driftproblem.

1.2 Syfte

Syftet med detta kandidatarbete är att upplysa om driftserfarenheterna vid termofil biogasproduktion och jämföra dem mot mesofil biogasproduktion. Arbetet strävar efter att upplysa fler företag och kommuner om en drift vid högre temperaturer för att ge insikt och utveckla kunskapen inom området. Målet med arbetet är att undersöka om det är värt en omställning för en effektivare process trots utmaningarna det kan medföra.

Frageställningarna som kommer att diskuteras är:

- Hur skiljer sig drifterfarenheterna mellan mesofila och termofila anläggningar?

- Vilka driftproblem finns det på termofila och mesofila anläggningar?
- Är en termofil anläggning i Sverige idag mer effektiv än en mesofil anläggning utifrån varierande aspekter?
- Är det mer lönsamt med en termofil anläggning?

1.3 Avgränsningar

För att förtydliga inriktningen och begränsa omfattningen av arbetet har specifika avgränsningar införts. Enkätstudien kommer att riktas endast till reningsverk som hanterar avloppsslam och inte andra typer av anläggningar. Dessa reningsverk kommer att vara belägna i Sverige för att säkerställa en rättvis jämförelse av termofila och mesofila drifterfarenheter. Eftersom studien syftar till att identifiera driftproblem mellan dessa typer av anläggningar kommer endast termofila, mesofila och anläggningar med drift i båda temperaturintervallen att delta i enkätstudien.

Arbetet är inriktat på att utvärdera lönsamheten av termofila och mesofila anläggningar och energianvändning kommer därför att tas i beaktande. Lönsamheten kommer dock att begränsas till att endast omfatta effektiviteten hos processen och inkluderar inte andra aspekter som exempelvis ekonomin. Energieffektiviteten kommer att beräknas baserat på anläggningarnas egenskaper och parametrar som besvarats i enkät och intervju.

Driftproblem kommer att delas upp enligt tre huvudkategorier: skumning, lukt och andra driftproblem. I studien kommer endast skumning och lukt att beskrivas, samt andra problem som framkommer i enkäten. Det är viktigt att notera att det kan uppstå andra problem i en rötningsprocess, men på grund av det stora antalet möjliga problem kommer inte alla att kunna beskrivas. Detta innebär att analysen och jämförelserna kommer att vara särskilt inriktade på dessa två aspekter av driftproblem.

1.4 Samhälleliga och etiska aspekter

Under arbetets gång har flera samhälleliga och etiska aspekter beaktats. Undersökningen är gjord baserad på svar från företag vilket gör att deras eventuella vilja att vara anonyma kommer respekteras. Dessutom skulle en omställning till termofil rötning innebära flera etiska konsekvenser som diskuteras i detta avsnitt.

1.4.1 Enkät- och intervjukonfidens

För att säkerställa frivilligt deltagande i enkätundersökningen, kontaktades representanter för flera reningsverk via telefon för att informera dem om arbetet. Därefter erbjöds de möjligheten att dela med sig av en valfri e-postadress för att motta enkätfrågorna. Möjlighet till anonymitet gavs för individer lika väl som företagen i helhet, på så sätt kan personer fritt dela med sig av information. Under arbetets gång genomfördes dessutom intervjuer med kontaktpersoner från två olika företag. Denna rapport kommer att vara offentlig och därför krävs det att de respondenterna ska ha möjlighet att vara anonyma. Detta kan bidra till att de intervjuade personerna blir mer uppriktiga då de inte riskerar eventuella påföljder från sitt företag. I detta fall valde båda kontaktpersonerna att ge tillåtelse att använda informationen samt deras namn i arbetet.

1.4.2 Informationshantering

Denna rapport är en enkätstudie som innebär att information om personer och företag kommer användas. Denna information kommer att bli en del av rapporten som planeras att publiceras. Syftet med studien är att objektivt lyfta fram fördelarna och problemen med termofil rötning samtidigt som respekt för de företag och personer som delar informationen upprätthålls. Alla enkäter och intervjuer kommer att vara opartiska och reningsverken som kommer att tas upp i denna rapport kommer att jämföras opartiskt.

1.4.3 Energieffektiv process och ekologiska effekter

Målet med denna rapport är att upplysa fler reningsverk om omställningen av drift med högre temperatur. Detta beslut kan ge olika konsekvenser för reningsverken som väljer att göra omställningen. Att köra en process vid högre drifttemperatur kommer att kräva mer energi. Företag som beslutar sig för att övergå till en process med högre drifttemperatur må behöva investera i ökad energiförbrukning, anpassa processutrustningen och engagera arbetskraft för

omställningen vilket resulterar i konsekvenser för företaget. Det är viktigt att processens ökade energianvändning är effektiv samtidigt som den minimalt påverkar miljön. Om detta kommer att resultera i ytterligare påverkan på miljön beror däremot på om företaget använder en förnybar energikälla eller inte. Vid en omställning finns möjligheten för mer hygieniserat slam som då ger en positiv ekologisk effekt då det ger möjlighet att återanvända slammet och utnyttja deras näringsämnen.

1.4.4 Förändrad arbetsmiljö

En ökad drifttemperatur innebär varmare arbetsförhållanden för personalen på reningsverken. Detta kan potentiellt påverka personal på reningsverken i form av behov av ny arbetsutrustning och utsättning för höga temperaturer under sin vardag vilket kan påverka deras hälsa. Vid högre temperaturer sker även en snabbare process vilket innebär en mer fokuserad övervakning och snabbare åtgärder vid eventuella driftfel. Detta kräver mer av personalen och kan sätta dem i stressande situationer. Vid termofila miljöer på en anläggning kan det dessutom finnas risk för ökad lukt i reningsverket. En ökad lukt kan leda till en mindre trevlig arbetsmiljö och försämrade arbetsförhållanden. I denna rapport undersöks hur lukten ändras vid omställningen från termofila till mesofila förhållanden.

2 Teori

I denna del presenteras processen för biogasproduktion och dess tillämpningar inom avloppsreningsverk, med fokus på termofila och mesofila förhållanden och deras inverkan på biogasproduktionen. Avloppsreningsverkens funktion förklaras tillsammans med deras användning av olika substrat. Slutligen behandlas energibalansen, där både energiförbrukning och användningen av biogas för att täcka energibehoven beskrivs.

2.1 Avloppsreningsverk

Avloppsreningsverk renar avloppsvatten från ämnen som är farliga för utsläpp i naturen. Större partiklar filtreras bort med mekanisk rening. Fosfor avlägsnas genom tillsättning av kemikalier i den kemiska reningsprocessen vilket gör att fosfor förtjockas och kan sedimenteras bort. Till sist renas även kväve och organiskt material från vattnet med biologisk rening [8]. Reningsprocessen ser väldigt olika ut beroende på reningsverk där vissa till exempel har ytterligare kväverening, samt olika tekniker för olika processer. Fokus i denna rapport ligger på händelserna efter de tre tidigare nämnda stegen. När vattnet är renat måste restavfallet som benämns som avloppsslam behandlas. Det sker i röt-kammaren där energiinnehållet utvinns i form av biogas och restslammet som inte rötas bort kan användas inom till exempel jordbruk. I detta avsnitt beskrivs avloppsreningsverkens processer med biogasproduktion, substrat, uppehållstid i anläggningarna, temperaturintervall och avvattning.

2.1.1 Biogasproduktion

Rötning är en naturlig process som förekommer i stillastående vatten, exempelvis sjöar, men som även utnyttjas i olika reningsverk som avloppsslambehandling. Det kan förklaras som bakterier och mikroorganismer som bryter ned biologiskt material i främst våta substanser [9]. Resultatet blir ett slam som innehåller en lägre procenthalt farliga patogener, men även metan och koldioxid som används till biogas.

Uppgradering av biogas är en process där koldioxid och föroreningar avlägsnas från biogasen för att producera biometan som är av högre kvalitet och har högre energiinnehåll. Denna uppgraderade biogas kan användas som bränsle till fordon eller ersätta naturgas i industriella processer [2]. Under 2022 uppgraderades två tredjedelar av den totala biogasproduktionen. Även

om den största delen av biogasen uppgraderas, återstår en del som inte kan uppgraderas eller användas på andra sätt. Överskottsgasen måste brännas genom fackling för att förhindra oönskade utsläpp av växthusgaser [2]. I Sverige utförs en stor del av facklingen på avloppsreningsverk.

2.1.2 Användning av substrat för biogasproduktion

Reningsverk kan använda sig av olika substrat för biogasproduktion och är ofta beroende på det lokala behovet av rening [10]. Exempel på substrat är matavfall, industriellt avfall, avloppslam, gödsel och/eller jordbruksrest. Majoriteten av Sveriges reningsverk har ett substrat på avloppslam som är en blandning av avföring, matrester, toalettpapper, kemikalier och bakterier. Det existerar tre huvudgrupper av avloppslammet som är primärslam, bioslam och kemslam. Kemslam är uppbyggt av flockar av fällningskemikalier och polymerer som har hamnat i avloppet. Bioslammet är den biologiska reningsprocessen med bakterier och mikroorganismer samt primärslam är det avloppslam som är lätt att sedimentera som till exempel toalettpapper.

2.1.3 Uppehållstid

Den hydrauliska uppehållstiden är ett medelvärde för substratets uppehållstid i en röt-kammare. Flera faktorer påverkar hur länge slammet stannar i tanken, exempelvis substratets uppbyggnad, tankens volym, temperaturen och inkommande flöde. Uppehållstiden anges i dygn och brukar i mesofila röt-kammare vara mellan ungefär 15 till 40 dygn [11]. Högre temperatur ger kortare uppehållstid eftersom materialet bryts ner snabbare och vid termofil rötning har undersökningar ner till 7 dagar gjort. En studie från SVU visar dock att rötning vid 55°C och en hydraulisk uppehållstid på 7 dygn inte är tillräckligt för att uppnå vissa hygieniseringskrav [7].

2.1.4 Temperaturintervall

Rötningen sker med hjälp av mikrobiella organismer inuti röt-kammaren [12]. Ämnesomsättningen hos dessa organismer påverkas starkt av temperaturförhållanden, vilket i sin tur innebär att temperaturen är en viktig parameter för röt-kammarens verkningsgrad och stabilitet. För stora temperaturvariationer kan därmed störa rötning-processen [12].

Mesofil rötning sker i intervallet 25-40 °C och termofil mellan 50-60 °C [6]. De mest effektiva intervallen är däremot 35-38 °C för mesofila förhållanden och omkring 55 °C för termofila [12]. En termofil drifttemperatur innebär att det krävs mindre volym och uppehållstid i röt-kammaren

samtidigt som det erhålls högre biogasproduktion. Däremot är processen mer stabil vid mesofila förhållanden. Anledningen till den ökade effektiviteten är att vid termofila temperaturer är aktiviteten hos nedbrytande enzymer nästan dubbelt så stor jämfört med vid mesofila temperaturer [12].

2.1.5 Avvattning av avloppsslam

Vid rening av avloppsvatten bildas avloppsslam som utgörs av partiklar uppslammade i vatten och kan vara både organiska och oorganiska [13]. Torrsubstanshalten, som mäter andelen fasta partiklar och lösta salter i slammet, är en viktig parameter. Genom avvattning minskas volymen på slammet för att vatten tas bort. Målet med slambehandlingen är att reducera volymen och mängden slam [14]. En hög TS-halt innebär därför en mer effektiv avvattning då mer vatten har avlägsnats och slammet innehåller en större mängd fasta partiklar. Detta betyder att en fördel med avvattning innan rötningsprocessen är att mindre volym vatten behöver värmas upp till mesofila eller termofila temperaturer.

2.2 Drifterfarenheter

I en reningsprocess mäts många parametrar för att ha kunskap om processens erfarenheter. Om händelser som stör processen uppstår kallas dessa för driftproblem. Driftproblem som lukt, skumning och övriga parametrar tas upp nedan.

2.2.1 Lukt

Rötning sker under anaeroba förhållanden som är en syrefri miljö där bristen på syre leder till att gasbildning sker och illaluktande ämnen bildas. En av restprodukterna från rötammaren är rötgas vilken innehåller flertalet illaluktande föroreningar bland annat ammoniak och svavelväte [15]. Lukten kan orsaka försämring i den fysiska arbetsmiljön för anställda på reningsverken, dessutom skulle lukten kunna orsaka missnöje hos boende och verksamheter i närområdet. Det är viktigt att regelbundet kontrollera och åtgärda variationer i processförhållandena för att hålla stabila förhållanden och undvika luktproblematik [15].

För att reducera lukten på anläggningen finns flera åtgärder att vidta. Ett alternativ är att tillsätta ozon som fungerar som oxidationsmedel för att få bort bland annat svavelväte [16]. Även kolfilter

kan samla upp svavelväte, för att minska luktproblematik måste de bytas ut regelbundet. Andra åtgärder kan vara att anlägga en slamsilo för lagring av slammet samt att undvika att slamaldern i röt-kammaren blir för hög. Vid stora luktproblem kan kemikalier tillsättas för att reducera lukten [15]. Det behöver däremot inte betyda att luftföroreningarna som ofta uppkommer i samband med luktutsläpp tas bort vilket gör att metoden bara är applicerbar vid extrema luktproblem .

2.2.2 Skumning

Biologiskt skum kan genereras i röt-kammaren under både termofil och mesofil rötning. Det finns många orsaker till att skum bildas i kammaren. Orsakerna kan vara till exempel otillräcklig blandning, temperaturvariation, närvaron av lätt nedbrytbara substrat eller ett lågt TS-värde som är under 4 procent [17]. I röttningsprocessen lyfter gas upp slammet till ytan där skumbildande mikroorganismer som Microtrix interagerar med ytaktiva ämnen eller olja som finns i avloppslammet [18]. Det finns två typer av skum som kan bildas i röt-kammaren där ena är stabilt skum och den andra är instabilt. Det stabila skummet förekommer då avloppslammet skakas med ytaktiva ämnen eller om röttningsprocessen är i obalans. Det instabila skummet kan även kallas för flytslam som består till exempel av fett och hår som binder gas vid röttningsprocessen. Det stabila skummet orsakar så att till exempel pH-värdet minskar, ger dålig gasproduktion och sänker utröttningsgraden, samtidigt som det instabila skummet påverkar till exempel skummet utseende. Det som sker när skum bildas i tanken är att kapaciteten hos rötningen sänks samt ett minskat biogasutsläpp från vätskan. Åtgärd till det stabila skummet är att använda en skumdämpare eller höja pH-värdet med en kemisk metod för att hämma skumbildningen, så kallade skumdämpningsmedel. Det instabila skummet kan åtgärdas med hjälp av till exempel vattenspritsning där man skjuter vatten på toppen av skummet för att fördela den.

2.2.3 Övriga parametrar

Alkaliniteten och pH-värdet är parametrar som påverkar röttningsprocessen. PH påverkar biogasproduktionen via tillväxten av mikroorganismer. Mikroorganismerna styr hur mycket biogas som produceras i en röttningsprocess och det optimala pH-värdet för metanogener är mellan 6,5 och 8 [17]. Alkalinitet är ett mått på en substans buffertförmåga. Vid en process är det viktigt att röttningsprocessen hålls stabil och jämnt producerar biogas, men då krävs ett stabilt pH-värde som nämnts ovan påverkar biogasproduktionen.

2.3 Energibalans

Genom att förstå energibalansen vid reningsverk kan energianvändningen effektiviseras vilket leder till en mindre miljöpåverkan. Energibalansen ger även möjlighet för jämförelse mellan olika biogasanläggningar och därmed olika rötningstemperaturer.

2.3.1 Energi till processen

För att termofil rötning ska vara mer lönsam måste flera aspekter tas i beaktande. Förutom redan nämnda driftsegenskaper är energiförbrukningen en viktig faktor. Många komponenter är väldigt energikrävande och val samt optimering av komponenterna är essentiellt för att minska på energianvändningen [19]. Även varifrån energin kommer är väsentligt med avseende på dess miljöpåverkan. Många reningsverk använder delvis biogasen till att värma upp lokaler och rötningsskammare vilket är en energieffektiv lösning. Mindre biogas behöver facklas samtidigt som man utnyttjar energin för uppvärmning av anläggningen.

2.3.2 Energiträvande komponenter

Energianvändningen kan se annorlunda ut beroende på reningsverk då metod för rening av avloppsvatten och landskapets höjdskillnader, topografin, kan skilja sig mycket [20]. Pumpar är en mycket energikrävande komponent och påverkas mycket av topografin vilket anläggningar kan utnyttja för att minska på sitt pumparbete och därmed sin energikonsumtion. Tillsammans med pumpar är framförallt luftningsbassänger (eller biobäddar) väldigt energikrävande. De sistnämnda står för den största energianvändningen i anläggningarna med en elenergiträvning på mellan 50 – 80% av den totala konsumtionen [19]. Dessa har uppgiften att lufta organiskt material. I slambehandlingen kan elkonsumtionen skilja sig mycket mellan olika reningsverk beroende på behandlingssätt och kapaciteten hos slammet men mycket energi går till att blanda, förtjocka och transportera det. Även slammet kan skilja sig en del mellan reningsverk men en högre TS-halt medför en lägre uppvärmningsenergi samt en ökad rötningsskapacitet [19].

2.3.3 Ekologiska konsekvenser

Biogas är ett utmärkt sätt att ta tillvara på energin i avloppsslam men vissa aspekter måste tas hänsyn till. Metangas är en mycket starkare växthusgas än koldioxid. På 100 års sikt ger metangasen 28 gånger större miljöpåverkan än koldioxid [21]. Därför facklas ofta den mängd

biogas som man inte kan ta tillvara på för att istället släppa ut koldioxid som bildas från förbränningen. På så sätt minskar reningsverken deras miljöpåverkan. Biogas som inte facklas kan användas för exempelvis uppvärmning av reningsverkets olika lokaler och rötningskammare vilket minskar elförbrukningen på ett energieffektivt sätt [19].

3 Metod

Metoden innefattade en enkät, intervjuer och beräkning. I denna del beskrivs metodval för insamling av data, urval av enkät- och intervjukandidater samt bearbetning och analys. Dessutom beskrivs val av frågor, antaganden och beräkning för att besvara frågeställningen.

3.1 Metodval

För att besvara rapportens frågeställningar användes en kombination av enkätstudier, intervjuer och beräkningar av effektivitet. Syftet med denna metod var att samla in kvantitativ och kvalitativ data för analys och besvara frågeställningarna. Enkäten användes för att samla in svar från fler anläggningar, medan intervjuerna användes för att fördjupa kunskapen om vissa anläggningar.

Fördelar med enkäter inkluderar möjligheten att samla in data från en stor grupp på ett tidseffektivt sätt [22]. Dessutom kan enkäter vara relativt enkla att administrera och bearbeta, vilket gör dem till ett praktiskt verktyg. Enkäten utformades med olika typer av frågor, inklusive öppna och slutna frågor, för att samla in olika typer av information. Öppna frågor gav respondenterna möjlighet att ge detaljerade svar med egna ord, medan slutna frågor innehöll fördefinierade svarsalternativ för enklare analys. Fördelarna med slutna frågor inkluderar att de är lättare att bearbeta och jämföra samt att det är enklare för respondenterna att förstå och svara på snabbt.

Det kan finnas nackdelar med enkäter, som låg svarsfrekvens, bortfall och risk för snedvridning i svaren beroende på hur frågorna formuleras och hur enkäten distribueras. För att minimera bortfall inkluderades en introduktion där studiens syfte beskrevs, som minskar risken för bortfall [22]. För minskad risk av snedvridning i svaren var frågorna konsekventa och försågs med tydliga instruktioner för respondenterna. Cirka en vecka innan den slutgiltiga deadline skickades en påminnelse ut till de anläggningar som ännu inte hade svarat på enkäten vilket ökade svarsfrekvensen. Enligt Bryman kan flera påminnelser skickas ut, men eftersom de flesta redan hade svarat på enkäten valdes endast en påminnelse att skickas ut [22].

Efter insamlingen av kvantitativ data användes även en kvalitativ datainsamling. För att samla in kvalitativ data tillämpades semistrukturerade intervjuer, en vanlig metod inom kvalitativ forskning där ett flexibelt frågeschema används [22]. Denna typ av intervju möjliggör följdfrågor

vilket ger intervjuaren möjlighet att följa upp svar och utforska ämnen mer ingående. Syftet med semistrukturerade intervjuer är att behålla en flexibel inställning, vilket tillåter intervjun att röra sig i olika riktningar beroende på respondentens svar. På detta sätt kan intervjun anpassas efter intervjupersonernas perspektiv och respondenternas egna uppfattningar blir framträdande. Målet med denna insamling var att få respondenternas egna uppfattning om omställningen från mesofil drift till termofil.

3.1.1 Utformning av enkätfrågor

Utformningen av enkätfrågorna diskuterades med handledarna Oskar Modin samt Ola Fredriksson, kontaktperson på Envidan. Frågorna delades upp i fyra huvudkategorier: grunddata, uppvärmning, drift och övrigt. De första två avsnitten inkluderade faktabaserade frågor om anläggningarna, vilket inkluderade prestanda och tekniska detaljer. Därefter introducerades mer utforskande frågor om driftproblem för att undersöka respondenternas upplevelser av olika aspekter. Slutligen inkluderades även andra frågor, till exempel om respondenterna var villiga att delta i en intervju.

Enkäten skapades med Microsoft Forms för att möjliggöra både fria textalternativ för mer detaljerade svar och flervalsalternativ för faktafrågor om anläggningen. Enkätfrågorna och svarsalternativen återfinns i Appendix A.1.

3.1.2 Utformning av intervjufrågor

För att fördjupa förståelsen av omställning från mesofil produktion användes semistrukturera intervjuer. Totalt skedde två intervjuer via Microsoft Teams med processingenjören Kajsa-Stina Ohlström från reningsverket Sjöstadsverket i Karlstad och processingenjören Qing Zhao från reningsverket Tegelviken i Kalmar. Dessa reningsverk kommer för enkelheten skull benämnas som Karlstads samt Kalmars anläggning. De båda arbetar som processingenjörer på vardera anläggning vilket betyder att de har välgrundad erfarenhet om ämnet i helhet. Frågorna utformades för att få en inblick i skillnaderna mellan de olika drifttemperaturerna, och formulerades utifrån deras specifika kunskap. Under intervjuens gång kunde följdfrågor ställas beroende på vart intervjupersonerna ledde intervjun.

Utformningen av frågorna formulerades med hjälp av handledare Oskar Modin. Dessa bestod av

generella frågor om anläggningen samt mer specifika frågor beroende på anläggning. Dessutom varierade frågorna mellan korta och konsisa frågor men även frågor som deltog till öppen diskussion. Intervjufrågorna som är generella hittas i Appendix A.2, specifika för Karlstad anläggning i Appendix A.2.1 och specifika för Kalmar anläggning i Appendix A.2.2.

3.1.3 Urval

Urvalet av termofila anläggningar baserades på samarbetet med Envidan. Kontakt med respondenterna skedde via kontaktperson Ola Fredriksson. Respondenterna var från termofila avloppsreningsverk runt om i Sverige. För att minska felkällor valdes mesofila anläggningar med liknande storlek och årsproduktion i förhållande till de termofila. Lika många av vardera anläggning kontaktades via e-post. Datainsamlingen genomfördes från 26 februari till 1 april 2024. Informationen om biogasanläggningarnas storlek och processförhållanden hämtades från Energigas Sverige. Personerna blev uppringda och fick frågan om de ville få enkäten utskickad.

Intervjukandidaterna valdes ut efter att enkäten var klar. Urvalet baserades på de anläggningar som hade övergått från mesofil till termofil produktion för att delta i intervjuer, förutsatt att de var villiga att delta. Detta innebar att de vid någon tidpunkt haft rötning vid mesofila temperaturer men idag kör termofilt. Till de personer som svarat *ja* i enkäten angående att ställa upp på intervju skickades ett e-post ut för vidare information. Dessa anläggningar valdes ut för att fördjupa förståelsen om hur driftproblem och driften ändrats sedan omställningen.

3.2 Bearbetning av insamlad data

Svaren från enkäten exporterades till Microsoft Excel där de presenterades i tabeller och diagram för att tydliggöra svarsmönster och kvantifiera data. Detta eftersom tabell och diagram är den vanligaste metoden för kvantitativ data och är lätta att tolka och förstå [22]. Frågorna om drifttemperatur och användning presenterades i diagram, medan frågor om volym och uppehållstid sammanställdes i tabeller. Drifterfarenheter och driftproblem analyserades sedan i diagram, där respondenternas svar tolkades som *ja*, *ibland* eller *nej*. Intervjusvaren transkriberades och utvärderades. Övriga svar som inte användes i tabell och diagram sammanställdes för beräkning.

3.2.1 Beräkning av enkätsvar

Beräkningarna genomfördes med svar från enkäten, vilka inkluderade värden för anläggningarnas biogasproduktion, volym på anläggning, substratbelastning, TS, VS, VS-halt, metanhalt, metanproduktion och energi till rötning. Enheter på de parameterar som användes i beräkningen hittas i tabell 1. Dessa parametrar och insamlad data användes för beräkning av utröttningsgrad, specifik biogasproduktion och energivinst.

Tabell 1: Paramterar som används i beräkningsdelen och deras enheter

Parameter	Enhet
Biogasproduktion	Nm ³ /år
Metanproduktion	Nm ³ /år
Volym på anläggning	m ³
VS-halt	%-andel
Metanhalt	%-andel
Substratbelastning	kg _{TS} /dag
TS	kg/år
VS	kg/år
Energi till rötning	KWh

För beräkning av utröttningsgraden baserat på TS användes ekvation (1). Substratbelastningen är lika med TS_{in} och rötresten TS_{ut}. Ekvationen kvantifierar andelen av ingående TS som omvandlats under processen och hur mycket som rötats bort. Detta multiplicerades med 100 för att få i procent.

$$\text{Utröttningsgrad}_{\text{TS}} = \frac{\text{Substratbelastning} - \text{Rötrest}}{\text{Substratbelastning}} \cdot 100 = \frac{\text{TS}_{\text{in}} - \text{TS}_{\text{ut}}}{\text{TS}_{\text{in}}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (1)$$

VS_{in} beräknades med substratbelastningen multiplicerat med VS-halten_{in}. För att få VS_{ut} multiplicerades VS-halten_{ut} med TS_{ut}. Dessa beräkningar beskrivs med ekvation (2) och ekvation (3).

$$\text{VS}_{\text{in}} = \text{Substratbelastning} \cdot \text{VS-halt}_{\text{in}} \quad [\text{kg}/\text{år}] \quad (2)$$

$$\text{VS}_{\text{ut}} = \text{Rötrest} \cdot \text{VS-halt}_{\text{ut}} \quad [\text{kg}/\text{år}] \quad (3)$$

Utröttningsgraden baserat på VS beräknades med ekvation (4). För beräkningen användes VS-halten in subtraherat med VS-halten ut. Detta dividerades med VS-halten in för att beskriva

effektiviteten på hur mycket inmatat organiskt material som omvandlats till biogas i processen, även detta multiplicerat med 100 för uttryck i procent.

$$\text{Utrötningsgrad}_{\text{VS}} = \frac{\text{VS}_{\text{in}} - \text{VS}_{\text{ut}}}{\text{VS}_{\text{in}}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (4)$$

För att beräkna den specifika biogasproduktionen användes ekvation (6). Metanproduktionen beräknades med biogasproduktionen multiplicerat med metanhalt och visas i ekvation (5).

$$\text{Metanproduktion} = \text{Biogasproduktion} \cdot \text{Metanhalt} \quad \left[\frac{\text{Nm}^3}{\text{år}} \right] \quad (5)$$

Specifik biogasproduktion beskriver hur mycket biogas som produceras i förhållande till röt-kammarens substratbelastning i TS. Detta beskriver hur effektivt substratbelastningen i röt-kammaren används. TS_{in} multiplicerades med 365 för att få per år.

$$\text{Specifik biogasproduktion}_{\text{TS}} = \frac{\text{Metanproduktion}}{\text{TS}_{\text{in}}} \quad \left[\frac{\text{Nm}^3}{\text{kg}} \right] \quad (6)$$

Biogasproduktionen baserat på VS-halten beräknades med ekvation (7). För att få fram den årliga specifika biogasproduktionen dividerades den årliga metanproduktionen med den årliga VS-belastningen in till anläggningen. Specifik biogasproduktion i VS-halt är andelen av det organiska materialet in i röt-kammaren som blir producerad metangas.

$$\text{Specifik biogasproduktion}_{\text{VS}} = \text{Metanpotential} = \frac{\text{Metanproduktion}}{\text{VS}_{\text{in}}} \quad \left[\frac{\text{Nm}^3}{\text{kg}} \right] \quad (7)$$

Den producerade metanen per volymenhet beskrivs med ekvation (8). Denna ekvation beskriver biogasproduktionen per kubikmeter på anläggningen.

$$\text{Metanproduktion per volymenhet} = \frac{\text{Metanproduktion}}{\text{Volym på anläggning}} \quad \left[\frac{\text{Nm}^3}{\text{m}^3 \cdot \text{år}} \right] \quad (8)$$

För att beräkna hur mycket metan som bildas per kg VS-halt in användes metanproduktion per borttaget VS. Metanpotentialen beskrivs med ekvation (9). Detta beskriver hur mycket biogas som produceras i förhållande till VS som avlägsnas.

$$\text{Metanproduktion per borttaget VS} = \frac{\text{Metanproduktion}}{\text{VS}_{\text{in}} - \text{VS}_{\text{ut}}} \quad \left[\frac{\text{Nm}^3}{\text{kg} \cdot \text{år}} \right] \quad (9)$$

Energivinsten av biogasproduktionen beräknas genom att jämföra värmeenergin som röt-kammaren behöver och biogasen som producerats i anläggningen. Energivinsten beskrivs med ekvation (10).

$$\text{Energivinst} = \text{Biogasproduktion} - \text{Energi till rötning} \quad [kWh] \quad (10)$$

För beräkning av energivinsten behövde biogasproduktionen omvandlas från Nm³ till kWh. För att omvandla mellan enheterna behövdes en metanhalt i biogasen. Detta beräknades med ekvation (7) där medelvärdet av metanpotentialen för termofil, mesofil och både användes. Med medelvärden av metanpotentialen kunde en omvandlingskonstant användas. Konstanterna kan hittas i tabell 2 och beräknades fram från kWh värdet för 100% metan [19].

Tabell 2: 1 Nm³ omvandlat till kWh för de olika anläggningstyperna

	KWh
Mesofil	6,16
Termofil	6,18
Både	6,28

Andelen energi och energieffektivitet beskrivs med ekvation (11). Detta ger en insyn på andelen energi och energieffektivitet av systemet. En högre procent av vinst ger en mer effektiv anläggning och denna ekvation kan visa skillnaden i energieffektivitet mellan olika anläggningar. För att se energivinsten (10) av biogasproduktionen jämfördes värmeenergin som rötammaren behöver och biogasen som producerats av anläggningen. Det multiplicerades med 100 för att få procentenheter.

$$\text{Vinst} = \frac{\text{Energivinst}}{\text{Biogasproduktion}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (11)$$

3.2.2 Antaganden vid analys av insamlad data

Vid datainsamlingen från enkäten bedömdes vissa svar som orimliga. VS-halter som uppgavs vara över 90% förkastades, med tanke på att VS-halten vanligtvis inte överstiger 70-80% inom avloppsrening [23]. För att kompensera för dessa värden beräknades ett medelvärde baserat på de återstående procenthalterna, och de förkastade värdena ersattes med detta medelvärde. Samma metod tillämpades för metanhalt som rapporterades över 90%, vilket inte är vanligt förekommande och normalt ligger runt 70-80% [23]. Vid beräkningen av medelvärdet för metanhalt utfördes endast en beräkning för de mesofila anläggningarna, eftersom de termofila

anläggningarna inte hade rapporterat några halter över 90%. Medelvärdena som användes hittas i tabell 3.

Tabell 3: Medelvärden på VS-halt och metanhalt för mesofila och termofila anläggningar

	Mesofila	Termofila
VS-halt in	0,79	0,78
VS-halt ut	0,65	0,64
Metanhalt	0,63	-

Det var inte alla anläggningar som svarade på samtliga frågor. När en anläggning inte svarade på en specifik fråga kunde inte alla data beräknas för den anläggningen. Som resultat av detta uppstod bortfall av vissa svar, och information från de återstående anläggningarna sammanställdes istället.

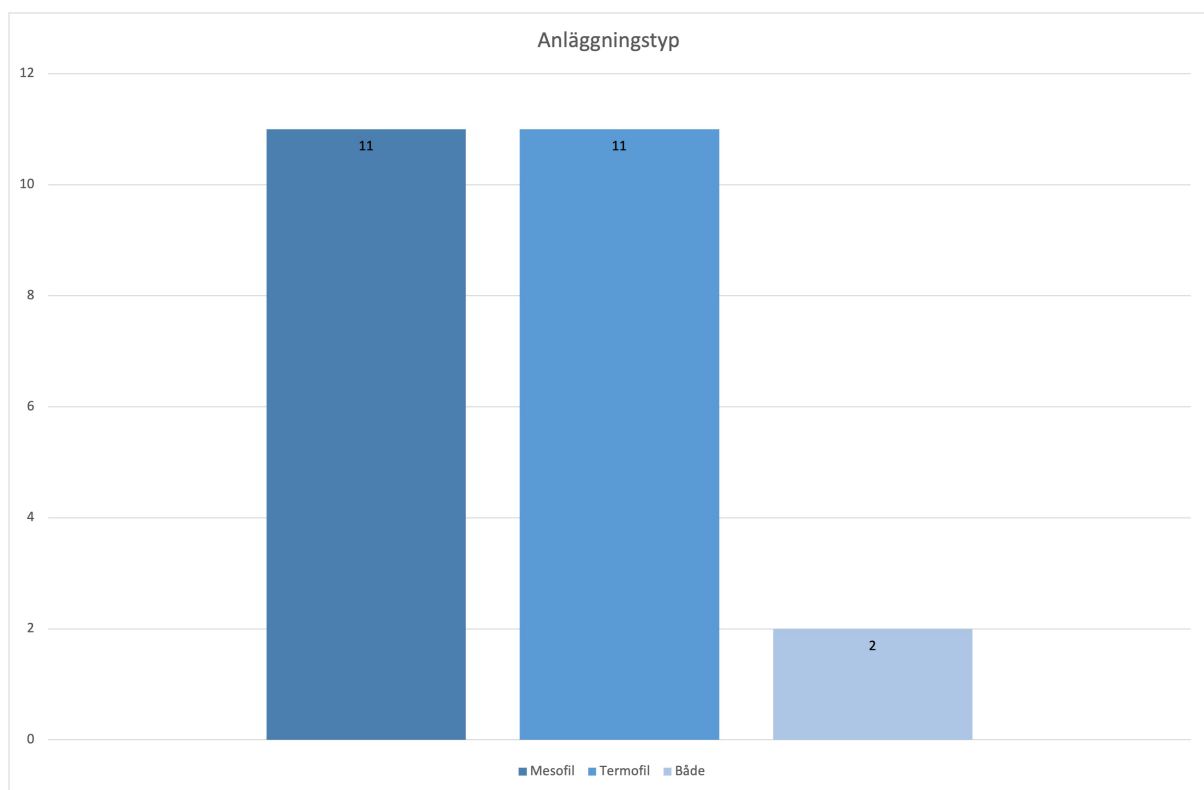
När det gäller frågan *Hur mycket biogas producerar ni per år?* rapporterades svaren i olika enheter, som Nm³ och m³. Normalkubikmeter (Nm³) avser gasmängden vid normal temperatur och tryck. Eftersom det inte var möjligt att konvertera mellan m³ och Nm³ med okända tryck och temperaturer antogs de två enheterna vara ekvivalenta.

4 Resultat

I denna del presenteras de sammanställda svaren från enkäten, intervjuerna och beräkningarna baserat på data insamlad från de olika avloppsreningsverken. Svaren presenteras i tabeller, diagram samt text med fokus på skillnader mellan anläggningstyperna.

4.1 Enkät svar

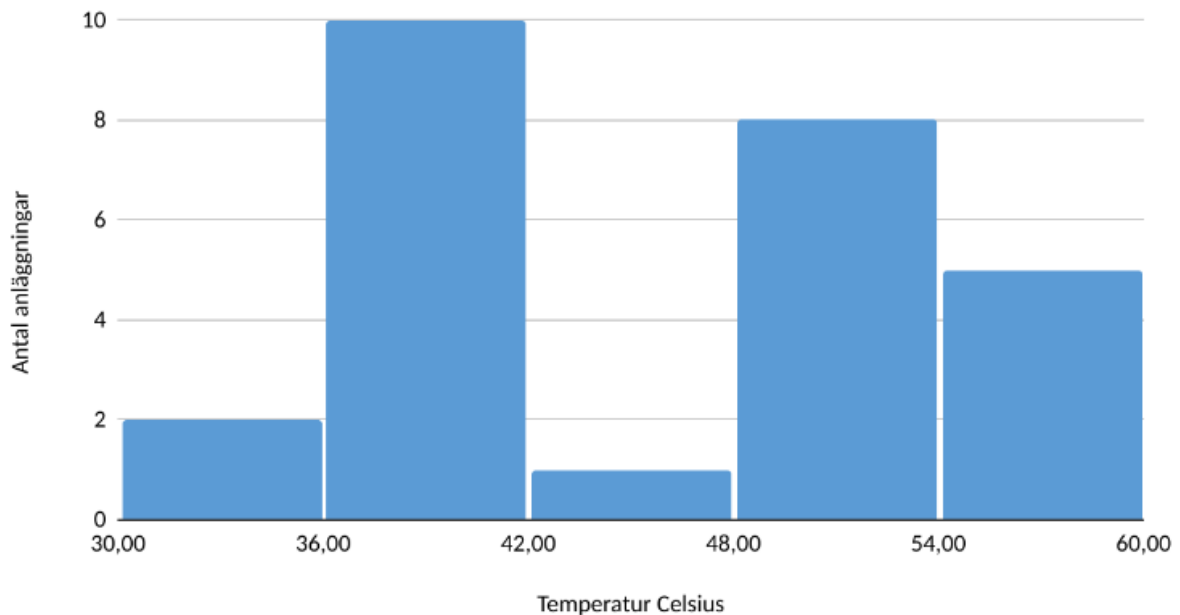
Enkäten fick totalt 24 svar från avloppsreningsverk och antal mesofila samt termofila visas i figur 1. Totalt var det 11 mesofila, 11 termofila och 2 som hade båda drifttemperaturerna. Av de termofila anläggningarna hade totalt 55% ställt om från mesofil produktion av biogas, det vill säga 6 stycken.



Figur 1: Anläggningstyper som besvarat enkäten

Anläggningarna visade en variation i temperatur och drifttemperaturerna beskrivs i figur 2. De mesofila reningsverken varierade från 34- 39,5 °C och de termofila från 48-55 grader °C.

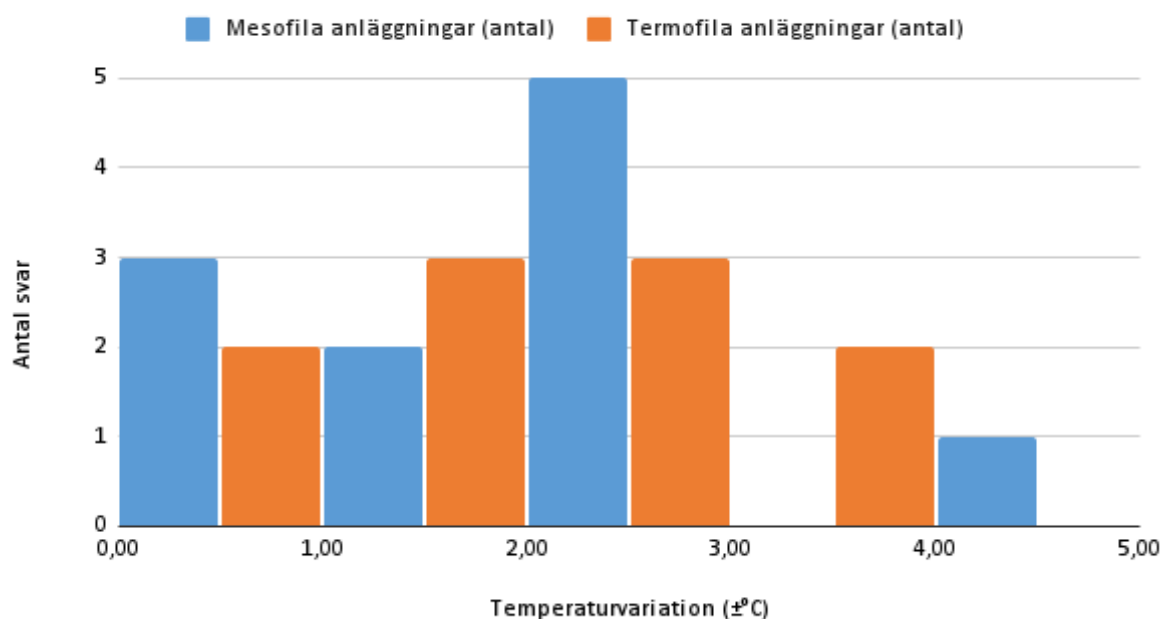
Temperatur för rötning



Figur 2: Anläggningarnas drifttemperaturer

Den mesofila medeltemperaturen är 36,5°C och varierar i snitt med 1,42 °C. Medelvariationen i termofila rötkammare är högre, 1,8 °C, och så är fallet även för drifttemperaturens medelvärde som ligger på 52,9 °C. De anläggningar som har rötning i båda temperaturintervallen är i denna del uppdelade i mesofila och termofila drifter då respondenterna angav ett temperaturintervall för respektive rötkammare. Figur 3 visar hur mycket drifttemperaturerna varierar från medelvärdena i figur 2.

Variation i drifttemperatur för rötning



Figur 3: Hur mycket anläggningarnas drifttemperaturer varierar från medelvärdet

I tabell 4 visas medelvärdet av uppehållstiden för de olika typer av anläggningarna. De termofila anläggningarna hade kortast uppehållstid och de mesofila hade längst uppehållstid. Dessa uppehållstider skiljer sig med 4,8 dagar.

Tabell 4: Medelvärden på uppehållstiden av anläggningen samt min och maxvärde

	Medelvärde av uppehållstid (Dagar)	Min - Max (Dagar)
Mesofil	21,7	12 - 30
Termofil	16,9	5 - 25
Både	20,5	15 - 26

Medelvärdet av den totala volymen på anläggningarna presenteras i tabell 5. Här visas att de mesofila hade lägst volym medan anläggningarna med både hade störst volym.

Tabell 5: Medelvärden på volymen av anläggningarna

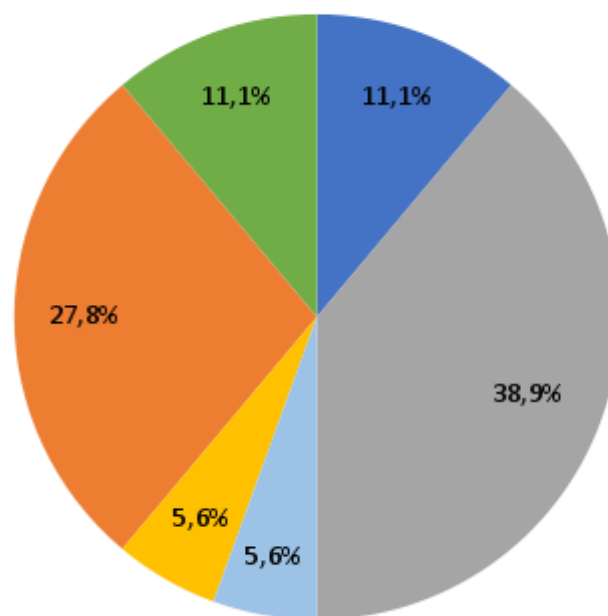
	Medelvärde (m ³)
Mesofil	1 527
Termofil	2 923
Både	3 650

4.1.1 Termofila och mesofila anläggningars biogasanvändning

Användningen av biogasen skiljde sig mellan anläggningstyperna. Enbart en anläggning med mesofila förhållanden uppgraderar sin biogas medan fyra anläggningar med termofila förhållanden uppgraderar. Båda med både termofil och mesofil drifttemperatur uppgraderar biogasen. De termofila anläggningarna hade en större andel av egenproduktion av värme och uppgradering medan de mesofila hade en större andel som facklas. Detta kan ses i figur 4 och figur 5.

Mesofila

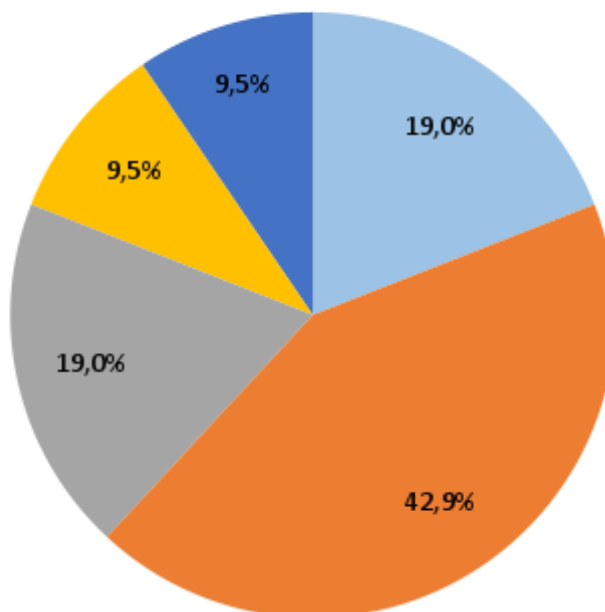
- Egen produktion av el & värme
- Facklas
- Uppgradering
- Levereras till värmeverk
- Egenproduktion av värme
- Fjärrvärme via gaspanna



Figur 4: Mesofila anläggningars användning av biogas

Termofila

- Uppgradering
- Egen produktion av värme
- Facklas
- Levereras till värmeverk
- Egen produktion av el & värme



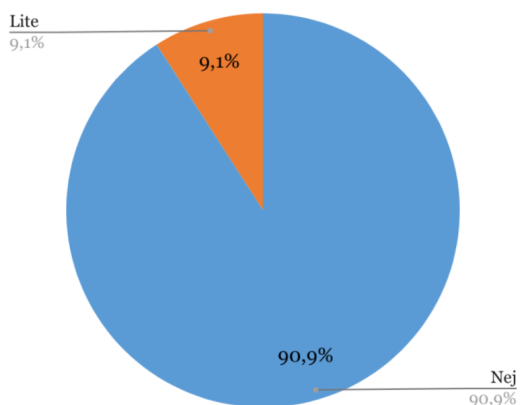
Figur 5: Termofila anläggningars användning av biogas

4.1.2 Respondenternas uppfattning av drifterfarenheter

Enligt figur 6 och figur 7 upplever majoriteten av termofila och mesofila ingen problem med lukt. Dock upplever respondenterna från termofila anläggningar en större andel *ja* och *lite* än personerna från de mesofila anläggningarna.

Mesofil anläggning

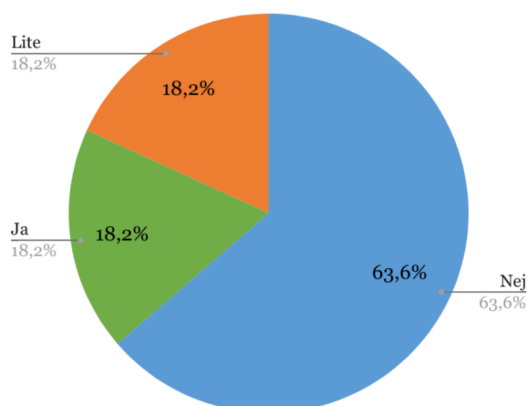
Har problem med lukt



Figur 6: Mesofila anläggningars problem med lukt

Termofil anläggning

Har problem med lukt



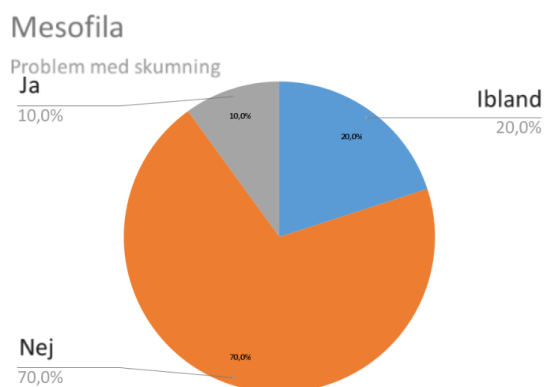
Figur 7: Termofila anläggningars problem med lukt

För att redovisa resultatet i diagram har förenklingar av respondenternas svar gjorts. De fullständiga svaren från enkäten redovisas i tabell 6 där samtliga insamlade svar citerade från enkätrespondenterna på mesofila och termofila anläggningar visas. Svarsalternativ tre och sex av de termofila anläggningarna ansågs ha svarat *lite*.

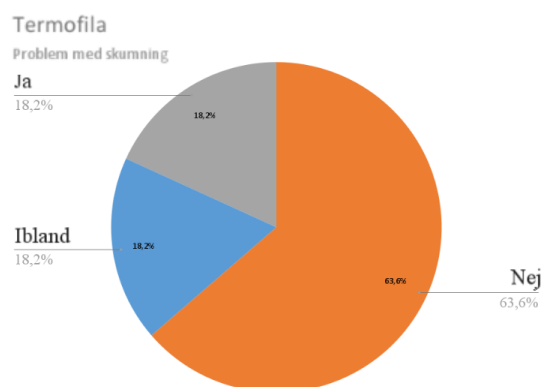
Tabell 6: Svar på frågan "Har ni problem med lukt?", se fråga 19 i appendix A.1

	Svar från mesofila anläggningar	Svar från termofila anläggningar
1	Nej	nej, inte under normal drift
2	Nej, Gasuppgraderingen som renar gasen har dock lite små problem med lukt denna står på samma område, byte av kolfilter löser problemet.	Nej
3	Nej	bara när man är i närheten av byggnaderna kan det vara lukt
4	Nej	Nej
5	Nej	Nej
6	Nej	inte från kommunal rötchammare, lite lukt från slamplattan men väldigt lokalt.
7	Nej	Nej
8	Nej	Inga inkomna luktklagomål under åren 2022-2023
9	Nej	Ja vi har problem med lukt. Ja i offgasen från uppgraderingen.
10	Nej	lukt finns, alla frånluft körs via kompostfilter.
11	Nej	Nej inga luktproblem, det är mycket stor skillnad mellan termofil och mesofil rötning

I figur 8 och figur 9 utlästes att majoriteten av både mesofila och termofila anläggningar inte har problem med skumning. De termofila anläggningarna upplevde en större andel *ja* vid frågan om problem med skumning, än de mesofila. Både termofila och mesofila anläggningar har en svarsandel på ungefär 20% vad gäller svarsalternativ *ibland*.



Figur 8: Mesofila anläggningars problem med skumning



Figur 9: Termofila anläggningars problem med skumning

Svarsalternativet *ibland* är en förenkling av de svar respondenterna skrivit i enkäten. För fullständiga svar se tabell 7 där samtliga insamlade svar citerade ur enkäten från mesofila och termofila anläggningar beskrivs. Anläggning ett och sju av de mesofila anläggningarna och anläggning två och åtta av de termofila anläggningarna antogs ha svarat *ibland*.

Tabell 7: Svar på frågan "Har ni problem med skumning?", se fråga 21 i appendix A.1

	Svar från mesofila anläggningar	Svar från termofila anläggningar
1	Använder skumdämpningsmedel vid behov. Har varit lite problem till och från som beror på bioslammet	För flera år sedan, men vi har lärt oss hantera det.
2	Nej	någon gång per år
3	Nej	nej hade för något år sedan
4	ja, vintertid och läge temperaturer	Ja
5	Nej	inte mer än tidigare.
6	Enstaka tillfälle på 30 år	Vi har brist på rötningskapacitet. Vi doserar skumdämpningsmedel kontinuerligt för att minska skum i röt-kammare.
7	Ibland	nej
8	Nej, väldigt sällan	ja i bland
9	Nej	Nej

Vid frågan *vilka metoder använder ni er av för att hantera skumning och lukt?* lämnade flera mesofila anläggningar svarsrutan tom och en skrev att de inte utför några åtgärder. Alla termofila anläggningar förutom en lämnade svar på vilka metoder de använder för att minska sina driftproblem. En stor majoritet använder sig av skumdämpningsmedel, även kolfilter och vattenspritsning är vanligt förekommande vid skumningsproblem. Vad gäller lukt har majoriteten inte skrivit några åtgärder. De som gjorde det angav att de jobbar med, kolfilter samt att undvika hög slamålder. En anläggning nämnde också att de har framtida planer på en slamsilo. Se fulltaliga svar i tabell 8.

Tabell 8: Svar på frågan ”*Vilka metoder använder ni er av för att hantera skumning och lukt?*”, se fråga 22 i appendix A.1

Svar från mesofila anläggningar	Svar från termofila anläggningar
Skumdämpningsmedel	Undvika hög slamålder och tillväxt av <i>Microthrix</i> i reningsverket, skumdämpare, vattenspritsning
Ingenting	Spritsvatten och skumningsdämpare
dosering av skumdämpande medel innan upp-fodring	Vid skumning doseras skumdämpare
-	Skumdämpare
Köra ner mer. Minska inpumpning av organiskt/fett	Doserar skumdämpningsmedel i röt-kammare. Vi kommer bygga slamsilo för att minska luktproblematik i framtiden.
Skumdämpare tillsätts vid inpumpning till röt-kammare	skumdämpningsmedel finns att dosera vid behov, vi doserar även bikarbonat för att reglera alkaliniteten. Inga luktproblem
Vi har vatten som sprutar ner på ytan för att slå nerskummet. Ingen metod finns för att åtgärda eventuell luktproblematik	Våren 2021 skumdämpare och stabilisering av processen mha natriumvätekarbonat och rätt temperatur
-	Vi har kolfilter från rötslamlager
-	Vi använder skumdämpande medel
-	Ej relevant

4.2 Intervjusvar

Intervjuerna visade på flera likheter, men också på flera skillnader mellan Kalmars och Karlstads anläggning, där omställning och driftproblem låg i fokus. I detta avsnitt beskrivs intervjurespondenternas uppfattning om omställningsprocessen och hanteringen av drifttemperaturer.

4.2.1 Omställningsprocessen

I omställningen från mesofil till termofil rötning uppstod det färre komplikationer för Karlstad jämfört med Kalmar. Temperaturen hos Karlstads röttkammare kunde enkelt gradvis höjas under en tidsperiod utan några större ombyggnationer medan det för Kalmar var mer komplicerat. Värmesystem och rörgallerier behövde antingen bytas ut eller byggas om. Något Zhao från Kalmars reningsverk hade noterat var att de borde ha dimensionerat sin värmeväxlarkapacitet efter framtida behov för att på så sätt slippa oundvikliga ombyggnationer senare.

4.2.2 Temperaturhantering

Trots att Kalmar ersatte sina gamla värmeväxlare med nya uppstod kapacitetsbrist vilket gör det svårt att bibehålla den eftertraktade temperaturen på 55°C. Istället är temperaturen 52°C under sommaren och 48°C under vintern, vilket de inte ansåg påverkar bakteriefloran. Karlstad hade en temperatur på 54°C men för att spara energi sänkte de till 52°C vilket de inte upplevt några problem med att uppehålla. Utöver temperaturen uppstår inte många driftproblem för något av verken. Skumning har tidigare varit ett problem för Karlstad men på senare tid har det uppstått väldigt sällan för någon av anläggningarna. När det väl uppstår doseras skumdämpningsmedel samt vid värre situationer används en vattensprits. Luktproblemen är väldigt begränsade och är inte något som Zhao eller Ohlström noterade som ett utstickande problem. Däremot var de ej med innan omställningarna för att kunna jämföra potentiella skillnader.

4.3 Beräkningsresultat

Beräkningsresultaten visade skillnader men även vissa likheter mellan anläggningarna. I tabell 9 redovisas medelvärdena på utröttningsgraderna baserat på TS och VS. Termofila anläggningar har något högre TS-grad vilket innebär att lite större del av rötresten är kvar efter avvattning jämfört med på mesofila anläggningar. Utröttningsgraden för VS är för termofila högre än för mesofila. Med en högre VS-grad innebär detta att torrsubstratet har kvar en större andel organiskt

material för termofila anläggningar.

Tabell 9: Medelvärden på utrötningsgraderna samt min- och maxvärde

	Medelvärde TS (%)	Min - Max (%)
Mesofil	33,6	15,6 - 43,8
Termofil	37,0	14,4 - 45,3
Både	39,4	35,6 - 43,2
	Medelvärde VS (%)	Min - Max (%)
Mesofil	45,6	27,5 - 55,9
Termofil	46,5	29,8 - 55,9
Både	50,5	45,6 - 55,3

Medelvärden av metanhalt i producerad biogas redovisas i tabell 10. Metanhalt är ungefär samma för anläggningarna med termofila och mesofila förhållanden och något högre för de anläggningar som har rötning i båda temperaturförhållandena. Det kan dock ses som en tillfällighet ej kopplad till drifttemperaturen då skillnaden inte är större än en procentenhet.

Tabell 10: Medelvärden på metanhalt från anläggningen samt min- och maxvärde

	Medelvärde av metanhalt (%)	Min - Max (%)
Mesofil	62,8	60 - 65
Termofil	63,0	60 - 65
Både	64,0	63 - 65

Tabell 11 visar medelvärde av den totala biogasproduktionen och metanproduktionen per år från anläggningarna. Anläggningarna med både termofil och mesofil produktion hade högst biogasproduktion och metanproduktion följt av termofila anläggningar och lägst hade de mesofila.

Tabell 11: Medelvärden på biogasproduktion och metanproduktion samt deras min- och maxvärde

	Medelvärde biogasproduktion (Nm³/år)	Min - Max (Nm³/år)
Mesofil	366 084	33 095 - 1 062 362
Termofil	621 569	117 000 - 2 000 000
Både	1 355 500	211 000 - 2 500 000
	Medelvärde metanproduktion (Nm³/år)	Min - Max (Nm³/år)
Mesofil	228 136	20 850 - 642 729
Termofil	392 845	74 880 - 1 260 000
Både	856 075	137 150 - 1 575 000

Den specifika biogasproduktionen i TS och VS visas i tabell 12. I tabellen redovisas en högre specifik biogasproduktion i både VS och TS för de termofila anläggningarna. Det stora intervallet på värdena visar i skillnader mellan effektivitet på anläggningarna.

Tabell 12: Medelvärden på specifik biogasproduktion i TS och VS samt deras min- och maxvärde

	Medelvärde specifik biogasproduktion_{TS} (Nm³/kg)	Min - Max (Nm³/kg)
Mesofil	1,4	0,03 - 8,6
Termofil	6,1	0,09 - 34,8
Både	0,41	0,04 - 0,77
	Medelvärde specifik biogasproduktion_{VS} (Nm³/kg)	Min - Max (Nm³/kg)
Mesofil	1,8	0,05 - 10,9
Termofil	8,9	0,1 - 44,6
Både	0,58	0,06 - 1,1

Tabell 13 redovisar medelvärden av metanproduktionen per kubikmeter i röt-kammaren. Metanproduktionen beskriver effektiviteten på rötningsprocessen. De termofila anläggningarna har 58% högre produktion än mesofila.

Tabell 13: Medelvärden på metanproduktion per volymenhet

	Medelvärde (Nm ³ /m ³ år)	Min - Max (Nm ³ /m ³ år)
Mesofil	136,7	20,85 - 194,8
Termofil	216,8	18,9 - 442,4
Både	181,5	91,4 - 271,6

Termofila och mesofila anläggningar hade samma medelvärde på metanproduktion per borttaget VS, vilket visas i 14. Jämfört med de termofila har de mesofila ett större intervall på minimum och maximalvärdet. Högst medelvärde hade anläggningarna med båda drifttemperaturerna.

Tabell 14: Medelvärden på metanproduktion per borttaget VS

	Medelvärde (Nm ³ /kg år)	Min - Max (Nm ³ /kg år)
Mesofil	0,6	0,05 - 1,1
Termofil	0,6	0,2 - 0,9
Både	1,0	0,13 - 2,0

Tabell 15 visar medelvärdet av vinsten för de mesofila och de termofila anläggningarna. Från de mesofila värdena så var det endast en anläggning som gav svaret om energin som röt-kammaren gick åt, sju stycken för de termofila och ingen för anläggningarna med båda. Av de sju termofila anläggningarna var min värdet 32,1% och max värdet 99,7%.

Tabell 15: Medelvärden på vinst i energi

	Medelvärde av vinst (%)	Min - Max (%)
Mesofil	63,6	-
Termofil	60,9	32,1 - 99,7
Både	-	-

5 Diskussion

I detta avsnitt kommer med hjälp av insamlat resultat från enkät och intervjuer, lönsamheten för termofil rötning jämfört med mesofil diskuteras. Det största fokuset ligger på energieffektivitet och drifterfarenheter. Vidare diskuteras metodvalen som använts i rapporten och hur dessa kan utvecklas.

5.1 Resultatdiskussion

I resultatet visas att det fanns skillnader i energieffektivitet och drifterfarenheter mellan termofila, mesofila och anläggningarna som hade båda drifttemperaturerna. I denna del diskuteras skillnader i uppehållstid, driftproblem och drifterfarenheter. Detta kompletteras med diskussion om omställningar från termofila temperaturer till mesofila temperaturer samt metoddiskussion.

5.1.1 Skillnad i uppehållstid

De mesofila anläggningarna hade längst uppehållstid medan de termofila hade kortast, vilket kan ses i tabell 4. De mesofila hade en längre uppehållstid på grund av den lägre temperaturen. En snabbare process resulterar i en högre biogasproduktion för de med termofil drifttemperatur, vilket stämmer överens med tabell 11 som presenterar biogasproduktionen. Teorin visade att de mesofila anläggningarna har en uppehållstid runt 15-40 dygn och att termofila anläggningar har en kortare uppehållstid, vilket stämmer med resultatet. Uppehållstiden för de termofila hamnade i intervallet för de mesofila anläggningarnas uppehållstid. Detta kan vara på grund av att en uppehållstid på 7 dygn inte är tillräcklig för att det renande vattnet ska vara hygieniskt, som upplystes i teorin. På grund av detta kan de termofila reningsverkan ha valt en längre uppehållstid än vad som är nödvändigt för biogasproduktion för att de ska uppnå hygieniseringskraven. Detta visar att det är en mer tidseffektiv process med högre temperatur under rötningen.

Eftersom metanproduktionen per kubikmeter visar effektiviteten på rötningsprocessen är de termofila anläggningarna mer effektiva per kubikmeter. Tabell 13 visar att de termofila hade högst metanproduktion per volymenhet. De termofila anläggningarna hade en större volym jämfört med de mesofila och de som använde båda temperaturförhållandena. Enligt teorin borde termofila anläggningar ha haft en lägre röt-kammarvolym i förhållande till mängden substrat som kommer in, men enligt enkätsvaren var detta inte fallet. Detta avvikelser kan bero på

antingen att man övervägde hela anläggningen eller att de mesofila anläggningarna var större till storlek. Det kan även bero på att frågan ställdes om volymen på alla rötkamrar sammanlagt och att de termofila har fler rökammare som därmed har mindre volym. I intervjuerna nämndes att anläggningarna kan ha en större volym för ökad substratbelastning i framtiden. Trots en större volym på anläggningen visar metanproduktionen och uppehållstiden att de termofila anläggningarna är mer tids- och volymeffektiv.

5.1.2 Skillnad i lukt- och skumningsproblem

I resultatet redovisas att termofila och mesofila respondenter upplevde skillnader i frågan om problem med lukt. Av de mesofila anläggningarna var det bara en respondent som uppgav lite problem med lukt. Samtidigt hade de termofila anläggningarna två respondenter som uppgav att de hade lite problem med lukt och två som hade problem. Detta ger en ganska stor skillnad vid jämförelse av hur anläggningar upplevs att arbeta på eller ha i sin omgivning. Däremot var det endast 18,2 procent som hade problem med lukt vilket är en liten procentandel av anläggningarna. I enkätsvaren för de termofila anläggningarna svarade tre av fyra att anläggningen har problem med lukt men inte använder någon åtgärd för att hantera lukten. En av respondenterna nämner att de i framtiden ska använda slamsilo för hantering av lukt medan en annan respondent använder ett kolfilter. Svaren från respondenterna visas i tabell 6 och tabell 8. Detta indikerar på att det finns utvecklingsmöjligheter för termofila anläggningar i Sverige för att åtgärda luktproblem.

Av de mesofila var det endast en som svarade *ibland* vid frågan om problem med lukt. Det var denna anläggning som var den enda av alla mesofila som uppgraderade sin biogas. Från de termofila anläggningarna skrev även en respondent att de upplever problem med lukt vid uppgradering av biogas. Detta kan betyda att det kan uppstå problem med lukt vid uppgraderingen och att termofila därför har en större andel *ja* och *ibland* vid frågan *har ni problem med lukt?* Att endast en mesofil uppgraderar sin biogas innebär att biogasen inte får högre kvalitet och kan inte användas som exempelvis bränsle till fordon. Av de termofila var det 19% som uppgraderade sin biogas till skillnad från mesofila som endast hade 5,6%. Den biogas som inte används facklas enligt teorin, vilket stämmer överens med resultatet då fler mesofila än termofila facklar sin biogas. Det skiljer sig 20 procentenheter mellan mesofila och termofilas andel som facklar. Eftersom den största delen av fackling inom Sverige sker vid avloppsreningsverk kan facklingen i landet minskas om fler ställer om till termofila temperaturer. Vid termofila temperaturer är det

en färre andel fackling och större andel uppgradering.

I resultat i figur 8 och figur 9 går det även att se att problem med skumning är ungefär lika stor för både termofila och mesofila anläggningar vilket kan peka på att skumningen till större del beror på andra saker än drifttemperaturen. Däremot har en större andel av de termofila anläggningarna angett att de doserar skumdämpningsmedel eller använder sig av vattenspritsning trots att de svarat *nej* på frågan om de upplever problem med skumning. Även tre respondenter av de mesofila reningsverken har uppgett att de använder skumdämpning eller vattenspritsning vilket visas i tabell 8. Behovet av åtgärder mot skum upplevs därmed, enligt enkäten, något större hos termofila reningsverk. De mesofila som har svarat *nej* åtgärdar likande problem, men inte i lika stor utsträckning. Skumningsproblemen verkar vara hanterbara hos de flesta anläggningar och de som behöver hantera mindre händelser kan tolkas ha en rutin för hur de ska gå till väga då majoriteten av respondenterna inte ser det som ett problem.

I tabell 8 visas att två av de termofila anläggningarna använder bikarbonat eller natriumvätekarbonat för att åtgärda skumbildningsproblemen och stabilisera alkiniteten. Enligt teorin beror detta på att stabil skumning sänker rötningsprocessens pH-värde. Rötningskammaren behöver ett bra pH-värde för att optimera produktionen av metangas och för att den ska hålla processen stabil. En av anläggningarna nämner att de använder bikarbonaten för att reglera alkinitet som då är viktig för stabiliteten hos processen. Detta kan indikera att termofila miljöer har en mindre stabil rötningsprocess. Vid en mindre stabil rötningsprocess kan biogasproduktionen vara ojämn men i resultatet redovisas att de termofila har högst biogasproduktion trots detta.

5.1.3 Skillnad i metan- och biogasproduktion

En högre utrötningsgrad baserat på TS innebär en mer effektiv avvattningsprocess vilket betyder att de termofila anläggningarna hade en mer effektiv avvattning än de mesofila. Medelvärden på utrötningsgraden baserat på TS-halten var störst för anläggningarna med båda drifttemperaturerna och innebär att den mest effektiva avvattningen sker vid dessa anläggningar. Detta kan bero på att det endast var två anläggningar som besvarade enkäten. I tabell 9 visas att utrötningsgraden baserat på TS och VS var båda mer effektiv för en termofil jämfört med mesofil anläggning. Detta betyder att termofila miljöer lyckas utvinna mer av TS för att skapa biogas samtidigt som de lyckas utnyttja mer av VS. Att ha en hög utrötningsgrad för både TS och VS är eftersökt och

därmed anses de termofila ha en mer effektiv avvattningsprocess.

Metanhalten visar hur hög energiinnehåll metangasen från biogasproduktionen har. Det är positivt att ha en metanhalt som är av hög procent för då den producerade gasen innehåller mindre föroreningar, koldioxid eller ånga. Detta är viktigt för att kunna använda metangasen som till exempel fordonsbränsle. I resultatet visade tabell 10 att det inte var en stor skillnad i metanhalten mellan mesofil, termofil eller båda drifttemperaturerna. Detta visar att drifttemperaturen rötningen inte har en påverkan på renheten av biogasen.

Den specifika biogasen är högre för termofila anläggningar i både VS och TS vilket kan ses i tabell 12. Enkätsvaren visar att en termofil process är mer effektiv än en mesofil röttningsprocess. Att den specifika biogasen är högre innebär att en större andel av substratbelastningen till röttningsprocessen omvandlas till biogas, vilket ger en möjlighet att då utnyttja substratets potential för att skapa till exempel en energikälla. Påverkan på både miljön och energieffektiviteten blir då positiv eftersom det kommer att krävas mindre substrat för att uppnå samma mängd biogas. Den specifika biogasproduktionen har ett högre minimumvärde för termofila anläggningar än mesofila vilket innebär att anläggningen med lägst specifik biogasproduktion är mer gynnsam för termofila. I tabellen visas även det att maximala värdet är högre. Att termofila har en högre specifik biogas visar då att det ger en mer lönsam produktion per substratbelastning för anläggningen.

Metanproduktionen per borttaget VS har densamma resultat för termofila och mesofila som ses i tabell 14. Ett större intervall kan indikera att mesofila anläggningarna har en jämnare produktion av metangas från VS som förbrukas i processen. Det innebär att anläggningarna med termofila temperaturer bibehåller en konstant hög metangasproduktion på 0,6 per borttaget VS, medan de mesofila anläggningarna verkar påverkas av fler faktorer som kan påverka metanproduktionen från borttaget VS. De anläggningarna som hade båda drifttemperaturerna hade ett högre värde i resultatet och det visar att de är mest effektiva på att producera metangas från den förbrukade VS.

Vinsten definerad i ekvation 11 var högre för de mesofila anläggningarna och redovisas i tabell 15. Det är inte säkert att detta värde är jämförbart med de termofila då endast ett resultat från de mesofila angavs. Om detta antas vara verklighetstroget i jämförelse av energivinsten betyder

det att även om termofila anläggningar har en högre temperatur är dessa energieffektiva nog att energivinsten inte påverkas mycket. Detta betyder att en temperaturökning inte kommer att ha en stor påverkan på miljön eller energikonsumtionen i Sverige. I samma tabell visas även att max värdet för vinsten är högre än den mesofila vinst procenten. Beroende på vilken anläggningstyp och andra faktorer varierar energivinsten. Som tidigare nämnt är resultatet för den mesofila och de termofila jämförbara då det är olika svarsfrekvenser. Att termofila har ett högt max värde på 99,7 visar att termofila anläggningar har möjligheten att vara energieffektiva. Det låga minimumvärdet visar att de inte alltid är energieffektiva, då det minsta värdet är 32,1%. Energieffektiviteten kan därför skifta från anläggning till anläggning.

5.1.4 Omställning från mesofil till termofil rötning

Syftet med intervjuerna var att ge en inblick i reningsverkens upplevelse av termofil rötning och omställningen från mesofila förhållanden. Intervjuerna skedde endast med de anläggningar som hade gjort en omställning vilket resulterade i att det inte fanns många anläggningar att välja från. Trots få svar erhöles resultatet att omställningen inte behöver vara en omständig process. Det behöver inte ske en utbyggnation av anläggningarna utan möjligtvis en ombyggnation eller utbyte av exempelvis värmeväxlare. Ingen av intervjurespondenterna var med under omställningen utan hade endast fått en inblick av kollegor och kunde därför ge en begränsad kunskap och upplevelse. Omställningen handlar om val grundat i kammarkapacitet för rötningen och/eller önskan om att höja metangas utvinningen. Om detta inte är prioriteringar för en anläggning med rötning i mesofila temperaturer är det inte sannolikt att valet om en temperaturhöjning kommer att ske, trots fördelarna som diskuterats tidigare. Det ökade energibehovet kan vara ett stort hinder och tillgången till en ökad mängd av elektricitet och värme kan vara avgörande för anläggningar att ställa om. Om det finns en lokal värmekälla för anläggningar som värmer upp med extern fjärrvärme påverkas reningsverken i mindre utsträckning vilket förenklar en omställning.

5.2 Metoddiskussion

Att kombinera slutna och öppna frågor i enkäten gjorde att svaren blev anpassade efter beräkningar och analyser som var planerade att utföras. När det kommer till beräkningarna har konkreta svar underlättat för möjligheten att sortera, göra antaganden och strukturera vilket lättare analyserats

med hjälp av de slutna frågorna. Nackdelarna kan vara att respondenterna kan tolka frågorna på olika sätt, vilket kan minska studiens validitet. I beräkningsdelen har vissa resultat behövt förkastas på grund av orimliga svar i enkäten. Detta kan bero på otydlighet i enkäten och att respondenterna har tolkat frågan fel. Därför inkluderades även öppna frågor där respondenterna kunde ge sina egna svar, vilket möjliggjorde insamling av data om anläggningarna samtidigt som respondenternas upplevelser av driftproblem, som lukt, kunde fångas. De öppna frågorna bidrog därmed till en grundligare bild av upplevelsen av arbetsmiljön på de olika anläggningarna. Det gav även mer förståelse för vad som kan vara orsaken till särskilda driftproblem samt hur de hanteras på anläggningarna.

Eftersom enkäten är skickad till enskilda individer på varje anläggning kan det inte garanteras att svaren är baserade på ett bredare perspektiv än så. De frågor som handlar om upplevelsen av reningsverket, som till exempel huruvida de har problem med lukt, riskerar därför att bli besvarade partiskt. Att svaren blir baserade på mottagarens personliga åsikt kan vara missvisande eftersom majoriteten av deras kollegor skulle kunna tycka något helt annat. Svaren får lägre trovärdighet till skillnad från om man hade gjort en större undersökning där fler anställda på varje anläggning hade fått svara. Att nå ut till ett större antal deltagare hade varit betydligt mer tidskrävande och inte möjligt i undersökningen. Enkäten har skickats ut till ingenjörer som jobbar på avloppsreningsverk vilket gör att informationen som fås ur svaren kommer direkt från källan hos de som jobbar med de aktuella frågorna. Mätvärdena är pålitliga och uppdaterade eftersom de är hämtade direkt ifrån anläggningarnas databaser. Deltagarna har också kunnat komplettera sina enkätsvar med ytterligare information.

Som nämnt ovan kan de slutna frågorna tolkas olika, vilket har märkts i vissa svar där respondenter har angett alternativa enheter eller ibland inga enheter alls. Det minskar validiteten eftersom antaganden då gjordes vid beräkningarna. Att anta värden i studien ökar risken för att resultatet kommer längre ifrån verkligheten. Samtidigt kan svar från respondenter som angett delar av värden som behövs i en formel användas trots bristande svar vad gäller enstaka värden. Vidare ger det ett bredare beräkningsresultat baserat på rimliga värden som påverkas av ett större antal anläggningar, jämfört med om samtliga anläggningar med avsaknade parametrar hade förkastats. Respondenterna hade även möjligheten att svara blankt vilket resulterade i ojämna svarsfrekvenser. Vid skapandet av enkäten antogs obligatoriska svarsalternativ vara mindre

pålitliga då detta kan ge felaktiga svar om respondenten inte kan besvara frågan.

6 Slutsats

Drifterfarenheterna relaterade till volym och uppehållstid skiljer sig åt mellan termofila och mesofila drifttemperaturer. Termofila processer har kortare uppehållstider, vilket resulterar i ökad biogasproduktion. Skumning och lukt förekommer i båda typerna av anläggningar, men lukten är något vanligare i termofila anläggningar. Detta kan kopplas till faktorer utöver driftstemperaturen. Även om termofila upplever fler driftproblem är detta ingenting som påverkar biogasproduktionen negativt eller inte är hanterbart.

Enligt beräkningarna är en termofil process mer energieffektiv än en mesofil process. För att en mesofil anläggning ska kunna övergå till termofil drift krävs det en vilja att ha en mer effektiv process och en önskan att producera mer biogas. Denna biogas kan sedan användas internt inom anläggningen eller säljas vidare. Termofil drift anses vara mer lönsam då drifttemperaturen genererar mer biogas samtidigt som driftserfarenheterna inte skiljer sig markant från de mesofila anläggningarna.

6.1 Framtida studier

Utgörliga undersökningar utifrån flera anställdas perspektiv hade varit relevant för att utöka variationen på upplevelser. Dessutom hade det kunnat vara intressant att få mer opartiska åsikter från besökare och boende i närliggande områden till anläggningarna, för att se hur deras intryck är av platserna. Även i dessa utredningar hade det på samma gång varit svårt att veta vad för faktorer som väger in i individens svar. Potentiellt hade en lösning varit att de som gör utredningen besöker alla verk på egen hand och formar egna åsikter, men detta är självklart något som hade varit mycket tidskrävande och som kan ge olika resultat beroende på årstid.

En annan aspekt att ta i beakt hade varit att ha med möjliga ekonomiska bieffekter av en omställning. En omställning kan ge ekonomiska konsekvenser för reningsverken som väljer att ändra drifttemperaturen. Avloppreningsverk som beslutar sig för att överväga en process med högre drifttemperatur kan behöva investera i ökad energiförbrukning, anpassa processutrustningen och engagera arbetskraft för omställningen vilket resulterar i ekonomiska kostnader för företaget. I framtida studier hade kostnaderna för dessa kunnat jämföras med energieffektiviteten.

I framtiden kan det vara intressant att gå djupare in i parametrarna alkalinitet och pH-värde då det är en viktig del av rötningsprocessen som har en stor påverkan på biogasproduktionen. Då skulle en undersökning på anläggningarnas pH-värde och pH-variation, samt ämne för alkalinitet och åtgärder för att behålla ett stabilt pH-värde kunna beaktas för att sedan jämföras mellan mesofila och termofila anläggningar.

Referenser

- [1] M. Sönne, *Biogas löser flera hållbarhetsmål*, sv-SE, nov. 2020. URL: <https://liu.se/nyhet/biogas-loser-flera-hallbarhetsmal> (hämtad 2024-04-09).
- [2] *Statistik om biogas*, sv, jan. 2023. URL: <https://www.energigas.se/fakta-om-gas/biogas/statistik-om-biogas/> (hämtad 2024-04-09).
- [3] *Modern biogasproduktion*, sv, juni 2017. URL: <https://www.energigas.se/publikationer/broschyror/modern-biogasproduktion/> (hämtad 2024-04-09).
- [4] *Generationsmålet - miljöarbete för kommande generationer*, mars 2023. URL: <https://www.sverigesmiljomal.se/miljomalen/generationsmalet/> (hämtad 2024-04-09).
- [5] O. Fredriksson, Göteborg, febr. 2024.
- [6] *Biogasprocessen - Biogödsel*. URL: <https://www.biogodsel.se/vad-aer-biogoedsel/biogasprocessen/> (hämtad 2024-04-09).
- [7] H. Kjerstadius, J. Jes la Cour, L. Stålhandske, E. Eriksson, M. Olsson och Å. Davidsson, "Rötning av avloppsslam vid 35, 55 och 60 °C," sv, tekn. rapport 2012-15.
- [8] *Avloppsreningsverk*, sv, text, sept. 2023. URL: <http://miva.se/vatten-och-avlopp/sa-funkar-vatten-och-avlopp/avloppsvatten/avloppsreningsverk> (hämtad 2024-05-07).
- [9] *Slam och biogas från reningsverk - Gästrike Vatten*, sv, text, mars 2024. URL: <https://www.gastrikevatten.se/vattenavlopp/spillvatten/slamochbiogasfranreningsverk/75.html> (hämtad 2024-04-09).
- [10] *Slam*, sv-SE. URL: <https://www.gryaab.se/vad-vi-gor/slam/> (hämtad 2024-04-09).
- [11] J. Andersson, "Optimering av driftstemperatur vid mesofil rötning av slam- funktionskontroll vid Uppsalas reningsverk," diss., Uppsalas Universitet och Sveriges lantbruks universitet, Uppsala, febr. 2019. URL: http://www.w-program.nu/filer/exjobb/Johanna_Andersson.pdf.

- [12] E. Nie, P. He, H. Zhang, L. Hao, L. Shao och F. Lü, “How does temperature regulate anaerobic digestion?” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, årg. 150, s. 111453, okt. 2021, ISSN: 1364-0321. DOI: 10.1016/j.rser.2021.111453. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136403212100736X> (hämtad 2024-04-23).
- [13] S. V. AB, “Avloppsteknik 3 Slamhantering,” juni 2010, ISSN: 1654-5117. URL: https://slunik.slu.se/kursfiler/TN0320/20107.1718/Avloppsteknik_3_Slamhantering.pdf.
- [14] S. V. AB, “Slamanvändning och strategier för slamanvändning,” mars 2013, ISSN: 1651-6893. URL: <https://www.svensktvatten.se/globalassets/avlopp-och-miljo/uppstomsarbete-och-kretslopp/m137-slamavandning-och-strategier-for-slamavandning-mars-2013.pdf>.
- [15] P. Lewkowska, B. Cieślik, T. Dymerski, P. Konieczka och J. Namieśnik, “Characteristics of odors emitted from municipal wastewater treatment plant and methods for their identification and deodorization techniques,” *Environmental Research*, årg. 151, s. 573–586, nov. 2016, ISSN: 0013-9351. DOI: 10.1016/j.envres.2016.08.030. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S001393511630487X> (hämtad 2024-04-09).
- [16] *Process: Ozonation of Drinking Water the Process*. URL: <https://www.knowyourh2o.com/indoor-4/ozonation-in-water-treatment> (hämtad 2024-04-29).
- [17] M. Tabatabaei och H. Ghanavati, utg., *Biogas: Fundamentals, Process, and Operation (Biofuel and Biorefinery Technologies)*, en. Cham: Springer International Publishing, 2018, vol. 6, ISBN: 978-3-319-77334-6 978-3-319-77335-3. DOI: 10.1007/978-3-319-77335-3. URL: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-77335-3> (hämtad 2024-04-09).
- [18] B. Hultman och E. Levlin, “Minskning av skumningsproblem och slammängd i röt-kammare,” Mark och vattenteknik, KTH, Stockholm, tekn. rapport 3005, juli 2003. URL: <http://imap.energiomiljo.org/kth/Avlopp-slam/Skumbildning.pdf>.
- [19] O. Eriksson, “Environmental Technology Assessment of Natural Gas Compared to Biogas,” en, i *Natural Gas*, IntechOpen, aug. 2010, ISBN: 978-953-307-112-1. DOI:

10.5772/9837. URL: <https://www.intechopen.com/chapters/11474>
(hämtad 2024-04-29).

- [20] M. Silfwerin, "Energieffektivisering och förbättrar resursutnyttjande vid Främby avloppsreningsverk i Falun," 2019, ISSN: 1654-9392.
- [21] *Jordbruk, utsläpp av växthusgaser*, sv, jan. 2024. URL: <https://www.naturvardsverket.se/data-och-statistik/klimat/vaxthusgaser-utslapp-fran-jordbruk/> (hämtad 2024-04-29).
- [22] A. Bryman, *Samhällsvetenskapliga metoder*, 2:6. Liber, 2011, ISBN: 978-91-47-09068-6.
- [23] O. Modin, april 2024.

A Appendix A

A.1 Enkät

Hej!

Vi är en grupp studenter som skriver ett kandidatarbete om rötning på Chalmers tekniska högskola. Målet med vårt projekt är att sammanställa information om drifterfarenheter från termofila anläggningar och jämföra med mesofila anläggningar. Vi undrar om ni skulle kunna hjälpa oss genom att fylla i en enkät om er biogasanläggning. Ni finner den bifogade enkäten nedan. Vi uppskattar om ni kan svara senast den 1 april för att vi ska kunna använda resultaten i vårt kandidatarbete. För eventuella frågor och funderingar tveka inte på att kontakta oss.

Tack för er hjälp!

Med vänliga hälsningar,

Elin, Erik, Mira, Leo och Sibel

Frågor med svarsalternativ som nedanstående innebar att respondenten kunde välja flera alternativ.

Exempel

Frågor med svarsalternativ som nedanstående innebar att respondenten kunde välja ett av alternativen. Vid övriga frågor och vid svarsalternativ *Annat* kunde respondenten skriva fritt.

○ Exempel

Grunddata

1. Vilket företag och vilken anläggning är du från?
2. Produceras biogasen med termofil eller mesofil rötning?
 - Termofil
 - Mesofil
 - Både

- Annat
3. Om er anläggning är termofil, har ni vid något tillfälle ställt om från mesofil rötning?
- Ja
 - Nej
4. Vad är temperaturen på rötningen och hur mycket varierar den?
5. Vilket typ av substrat används i er biogasanläggning?
- Matavfall
 - Industriellt avfall
 - Avloppsslam
 - Gödsel
 - Jordbruksrest
 - Annat
6. Vilken uppehållstid har slammet i er sammanlagda rötningvolym?
Exempel på enhet: dagar
7. Vad är anläggningens sammanlagda volym?
8. Hur mycket biogas producerar ni per år?
Exempel på enhet: nm^3 eller MWh/år
nm=normalmeter
9. Vilken är den genomsnittliga substrat-belastningen till anläggningen?
Exempel på enhet: kgTS/dag
TS= torrs substans
10. Vad är den normala VS halten som går till rötkammaren i procent av TS?
VS= Volatile solids
11. Hur mycket rötrest går ut från anläggningen?
Exempel på enhet: kgTS/dag
12. Vad är den normala VS halten som går ut från rötkammaren i procent av TS?

13. Vilken är den normala metanhalten i biogasen?

Svara gärna i procenthalt

Uppvärmning

14. Hur används biogasen?

- Uppgradering
- Egen produktion av el och värme
- Facklas
- Egen produktion av värme
- Levereras till värmeverk
- Annat

15. Hur stor andel av biogasen facklas?

16. Om ni har restvärme, vad gör ni med den?

- Säljs vidare
- Återanvänds inom anläggningen
- Annat

17. Varifrån kommer grundvärmen till anläggningen?

Skriv om värmen är:

- Helt extern; inköpt värmekälla i form av fjärrvärme
- Helt intern; producerad värme såsom gaspanna, oljepanna

18. Hur mycket värme används för att värma upp röt kamrarna?

Drift

19. Har ni problem med lukt?

20. Om ni har ställt om från rötning vid mesofila temperaturer till termofila, upplever ni att lukten förändrats?

21. Har ni problem med skumning?

22. Vilka metoder använder ni er av för att hantera skumning och lukt?
23. Har ni problem med instabila processförhållanden?
24. Om ni avvattnar ert avloppsslam, vad är TS halten på det avvattnade slammet i procent?
25. Har ni andra typer av driftsproblem?
Om ja, vilken typ och hur ofta?

Övrigt

26. Finns det annan information som ni tänker är relevant för vår analys?
27. Skulle ni vilja ställa upp på en intervju?
 - Ja
 - Nej
28. Om ja på föregående fråga, hur vill ni bli kontaktade?

A.2 Intervjufrågor

Nedstående är frågor och text till intervjuerna som gjordes, men dessa användes bara som stöd under intervjuerna då det var en semistrukturerad intervju.

Hej! Våra namn är[]. Vi vill börja med tacka för att du ställer upp på denna intervju, vi skulle vilja se om det är okej att vi spelar in denna konversation endast i syfte att kunna lyssna på det igen senare och anteckna. Jag kommer anteckna lite samtidigt. Har vi tillåtelse att använda ditt namn och den information du ger i vår rapport?

1. Vad tror du är dom största fördelarna och nackdelarna med att ha en termofil anläggning?
2. Varför tror du att mesofil drifttemperatur är vanligast idag i Sverige?
3. Tycker ni att fler ska ställa om?
4. Påverkas omgivningen av ert reningsverk?
5. Hur många driftproblem skulle du säga ni stöter på per månad?

6. En termofil anläggning kräver mer energi än mesofil, hur har ni valt att effektivisera driften och vart kommer energin ifrån?
7. Det finns rykten om att termofila anläggningar har sämre arbetsförhållanden med exempelvis fler luktproblem, driftproblem och högre temperatur i anläggningen. Vad är din upplevelse kring dessa rykten i er anläggning?
8. Vet du varför ni gjorde valet att ställa om till termofil?
9. Är det svårt att bibehålla en stabil temperatur? Om ni har stabil temperatur, hur har ni lyckats? Är utrustningen annorlunda jämfört med mesofil rötning?
10. Vet du om det var en kostsam omställning?
11. I din erfarenhet, är termofil drift mer lönsam än mesofil (jämfört med exempelvis andra anläggningar)?
12. Producerar ni mer biogas än innan? Vad gör ni med den ökande mängden?
13. Hur lång tid tog det att göra en omställning?
14. Vilken strategi hade ni vid omställningen? Hade ni tillräckligt med mesofilt slam eller tog ni in termofilt slam?
15. Hur snabbt ökade ni temperaturen?
16. Vad för strategi hade ni kring matning?
17. Behövde reaktorn byggas om eller uppgraderas? Hur mycket av materialen och vilka behövdes då byta ut?
18. Upplever ni någon skillnad i arbetsförhållanden efter omställningen?
19. Vad är de största skillnaderna ni upptäckt mellan mesofil drift och termofil?
20. Har mängden substrat ni kan hantera ändrats?
21. Vilka åtgärder gjorde ni under omställningen?
22. Har du någon extra inblick i omställningen som är väsentlig för mesofila anläggningar som vill ställa om till termofil rötning eller möjligtvis allmän information?

A.2.1 Karlstad anläggning

1. Hur länge har du varit anställd hos Sjöstadsverket?
2. Har du tidigare varit anställd på ett annat verk?
3. Hur många år innan du började din anställningen på reningsverket i Karlstad gjordes omställningen till termofil rötning?
4. Varför har ni en drift vid specifikt 52 grader?
5. I enkäten nämner du att ni hade problem med skumning men inte längre. Vad har ni gjort för att undvika skumningen?

A.2.2 Kalmar anläggning

1. Varför har ni en drift vid specifikt 48-52 grader? Varför så stort intervall?
2. I enkäten nämner du att ni använder skumdämpningsmedel regelbundet, är detta en hög kostnad för er?

**INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH
SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA**

Göteborg, Sverige 2024
www.chalmers.se



CHALMERS