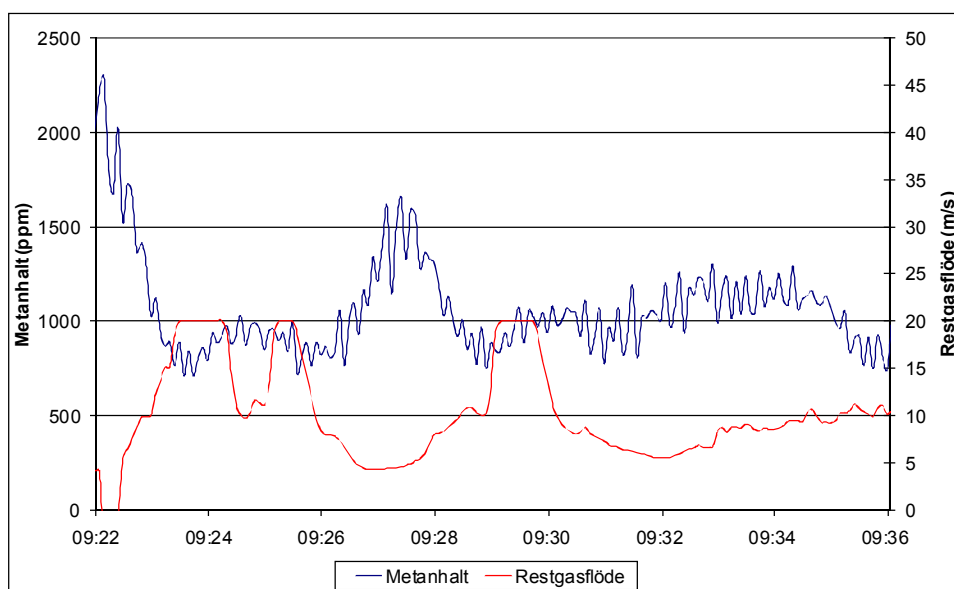


Handbok metanmätningar



Magnus Andreas Holmgren, SP

Februari 2011

SGC:s FÖRORD

FUD-projekt inom Svenskt Gastekniskt Center AB avrapporteras normalt i rapporter som är fritt tillgängliga för envar intresserad.

Denna rapport finns även tillgänglig på Avfall Sveriges hemsida (www.avfallsverige.se).

SGC svarar för utgivningen av rapporterna medan uppdragstagarna för respektive projekt eller rapportförfattarna svarar för rapporternas innehåll. Den som utnyttjar eventuella beskrivningar, resultat eller dylikt i rapporterna gör detta helt på eget ansvar. Delar av rapport får återges med angivande av källan.

En förteckning över hittills utgivna SGC-rapporter finns på SGC:s hemsida www.sgc.se.

Svenskt Gastekniskt Center AB (SGC) är ett samarbetsorgan för företag verkamma inom energigasområdet. Dess främsta uppgift är att samordna och effektivisera intressenternas insatser inom områdena forskning, utveckling och demonstration (FUD).

SGC har följande delägare: Svenska Gasföreningen, E.ON Gas Sverige AB, E.ON Sverige AB, Göteborg Energi AB, Lunds Energikoncernen AB (publ) och Öresundskraft AB.

Följande parter har gjort det möjligt att genomföra detta utvecklingsprojekt:

Avfall Sverige
Energigas Sverige
Statens energimyndighet

SVENSKT GASTEKNISKT CENTER AB



Jörgen Held

Sammanfattning

I biogasanläggningar, där det sker biologisk behandling av organiskt material genom anaerob nedbrytning, samt vid uppgradering av biogas till fordonsbränsle kan det uppstå utsläpp till luft i olika delar av systemet. Det finns framförallt fyra skäl till varför dessa utsläpp skall minimeras. Dessa är säkerhetsaspekter, växthusgaser, ekonomi och lukt.

I denna handbok samlas erfarenheter från flera års arbete med mätning av metanutsläpp från biogas- och uppgraderingsanläggningar. Detta arbete har i huvudsak utförts inom ramen för Avfall Sveriges system med Frivilligt åtagande.

Syftet med handboken är att standardisera metoder och tillvägagångssätt då metanmätningar utförs, så att resultaten blir jämförbara mellan olika utförare. Den huvudsakliga målgruppen med handboken är mätkonsulter som utför sådana mätningar.

Beräkningsmall i Excel är en del av handboken, vilket ytterligare bidrar till att mätningarna utvärderas på ett standardiserat sätt. Handboken innehåller ett flertal exempel, som beräknats i den medföljande Excel-mallen.

Handboken innehåller också ett kapitel som i huvudsak riktar sig till anläggningspersonal, där genomförandet av noggrann läcksökning beskrivs, samt där det finns tips om ett system med s.k. mellanliggande kontroller för att upptäcka läckor i tid.

1	INLEDNING	1
1.1	Syfte och mål	2
1.2	Metod	2
1.3	Avgränsningar	2
2	DEFINITIONER	3
3	BAKGRUND	4
3.1	Biogas	4
3.2	Metan, CH ₄	4
3.3	Rötning	4
3.4	Uppgradering	4
4	MÄTMETODER OCH UTRUSTNING	5
4.1	Metan	5
4.1.1	FID med Cutter	5
4.1.2	Påspröver	6
4.1.3	Läcksökningsinstrument	7
4.1.4	Metan i vatten	8
4.2	Gasflöde	8
4.2.1	Flödet i ett rör	8
4.2.2	Ventilationsöppning	9
4.2.3	Fläktdata	9
4.2.4	Schablon	10
5	UTSLÄPPSPUNKTER	11
5.1	Biogas- och slamröttningsanläggningar	11
5.2	Uppgraderingsanläggningar	12
6	GENOMFÖRANDE	13
6.1	Anläggningsdata	13
6.2	Bestämning av metanförlust	14
6.3	Ventilationsluft	14
6.3.1	Ventilationsrör	14
6.3.2	Ventilationsöppning i lokal	15
6.4	Tankar	16
6.5	Analysinstrument	16
6.6	Restgas från uppgraderingsanläggning	17
6.6.1	Recirkulerande vattenskrubber	17
6.6.2	Enkelt genomströmmande vattenskrubber	17

6.6.3	PSA	18
6.6.4	Kemisk absorption	19
6.6.5	Kryogen teknik	19
6.7	Rötresttank	19
7	BERÄKNINGSFORMLER	21
7.1	Mätosäkerhet	22
7.2	Matematisk modellering av metanförlust i rötrest	22
8	EXEMPEL	24
8.1	Biogasanläggning, exempel	25
8.1.1	Ventilationsrör	25
8.1.2	Ventilationsöppning i lokal	26
8.1.3	Blandningstank	27
8.1.4	Rötresttank (matematisk modellering)	28
8.1.5	Analysinstrument	28
8.1.6	Total förlust	28
8.2	Uppgraderingsanläggning, exempel	29
8.2.1	Restgas	29
8.2.2	Ventilation lokal	30
8.2.3	Ventilation brunn	31
8.2.4	Analysinstrument	32
8.2.5	Total förlust	32
8.3	PSA-anläggning	33
8.3.1	Numerisk integration	33
8.3.2	Medelvärden	34
8.3.3	Gaspåse	34
8.4	Enkelt genomströmmande vattenskrubberanläggning	35
8.5	Andra metoder	37
8.5.1	Bestämning av metanförlust med läcksökningsinstrument	37
8.5.2	Bestämning av utsläpp från en spricka i t.ex. betongtak	37
9	LÄCKSÖKNING	39
9.1	Metoder och instrument	39
9.2	Noggrann läcksökning med instrument	39
9.3	Mellanliggande kontroller med instrument	40
10	REFERENSER	41

1 Inledning

Vid biologisk behandling av organiskt material genom anaerob nedbrytning, rötning, samt vid uppgradering av biogas till fordonsbränsle kan det uppstå utsläpp till luft i olika delar av systemet. Det finns framförallt fyra skäl till varför dessa utsläpp skall minimeras. Dessa är:

- säkerhetsaspekter Biogas består i huvudsak av metan, CH₄, vilken är en brännbar och explosiv gas. Vid en halt av 4-16 % metan i luft kan gasblandningen antändas.
- förhindra utsläpp av växthusgaser Metan ger 23 gånger högre bidrag till växthuseffekten än koldioxid. I ett biogassystem kan det även förekomma små halter av dikväveoxid, N₂O, även kallat lustgas. Denna gas ger 296 gånger högre bidrag till växthuseffekten än koldioxid (Europaparlamentets och rådets direktiv 2009/28/EG om främjande av användningen av energi från förnybara energikällor).
- luktproblem Utsläpp från biogassystem kan medföra luktproblem, vilket drabbar anställda och närboende.
- ekonomi Anläggningen säljer gas eller använder gasen internt. Förluster genom utsläpp kan bli kostsamt.

I en studie (Metoder att mäta och reducera emissioner från system med rötning och uppgradering av biogas) genomförd av SwedPower under 2004 genomfördes mätningar av utsläpp på ett antal biogas- och uppgraderingsanläggningar. I studien konstateras att i de anläggningar som undersöktes förekom små utsläpp i ett antal delar av anläggningarna. Det har även tidigare genomförts mätningar på utsläpp från uppgraderingsanläggningar (Persson, 2003) vilket visat att anläggningarna inte alltid lever upp till de nivåer på utsläpp som leverantörerna garanterat.

Med detta som bakgrund införde Avfall Sverige det s.k. Frivilligt åtagande för biogasanläggningar (Holmgren, 2009), där anläggningar förbinder sig att systematiskt arbeta med att kartlägga och minska sina utsläpp. En del av det frivilliga åtagandet är att återkommande genomföra emissionsmätningar vid anläggningen för att bestämma metanutsläpp och metanförlust. En annan del av det frivilliga åtagandet är att regelbundet och systematiskt genomföra läcksökning vid anläggningen.

Vattenfall Power Consultant AB (VPC, f.d. SwedPower) fick i uppdrag att genomföra mätningar och beräkningar vid samtliga deltagande anläggningar i Frivilligt åtagande, under den första 3-årsperioden 2007-2010. Vid samtliga dessa mätningar deltog Magnus Andreas Holmgren som mättekniker.

Med erfarenheterna från dessa mätningar, och andra liknande mätningar som utförts i andra uppdrag, har SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut fått i uppdrag av SGC, Avfall Sverige och Energigas Sverige att dokumentera erfarenheter och lärdomar från dessa mätningar i denna handbok. Handboken är tänkt att användas av mätkonsulter när de genomför metanmätningar vid biogasanläggningar.

När systemet med Frivilligt åtagande reviderades år 2009 infördes krav på att anslutna anläggningar regelbundet genomför läcksökning i sin egen anläggning. Ett speciellt avsnitt har skrivits i denna handbok med tips om hur man kan planera och utföra sådan läcksökning.

1.1 Syfte och mål

Projektet har två syften.

1. Detaljerade instruktioner för hur mätning och beräkning ska genomföras vid noggrann bestämning av metanemissioner. Huvudsaklig målgrupp för detta avsnitt är mätkonsulter.
2. Enkla instruktioner för planering och genomförande av läcksökning. Huvudsaklig målgrupp för detta avsnitt är anläggningspersonal.

Målet med projektet är en handbok som i valda delar kan tillämpas både av mätkonsulter och av anläggningspersonal för att bestämma metanutsläppens storlek samt identifiera läckor. Beräkningsmall i Excel ingår som en del av redovisningen.

1.2 Metod

Projektet utgick från det material om mätning och beräkning som finns i systemet för Frivilligt åtagande, men skrevs till stor del om och kompletterades med utförligare information och exempel från genomförda mätningar. Beräkningsmallar i Excel skapades med tydliga instruktioner.

En referensgrupp har hjälpt författaren med projektet:

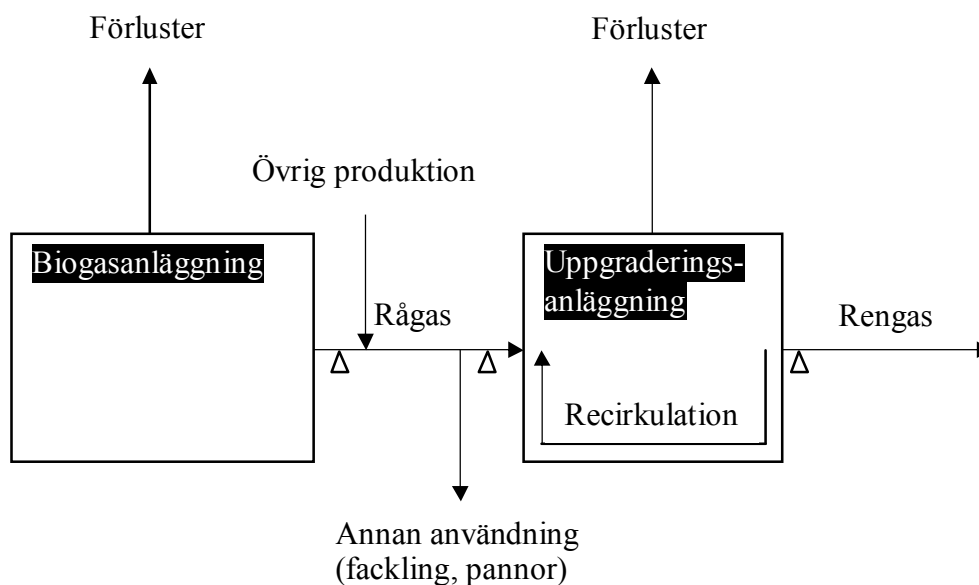
- Carl-Magnus Pettersson (Växtkraft, Västerås) anläggningsrepresentant
- Pernilla Bratt (Skövde kommun) anläggningsrepresentant
- Anneli Peterson (SGC)
- Angelika Blom (Avfall Sverige)
- Lennart Gustavsson (SP Energiteknik) emissionsmätteknik
- Hanna Hellström (SP Energiteknik) initiativtagare till Frivilligt åtagande

1.3 Avgränsningar

Projektet omfattar i första hand moderna biogasanläggningar för rötning av avfall. Metodiken kan tillämpas i stor utsträckning även på äldre anläggningar, exempelvis anläggningar för rötning av avloppsslam.

2 Definitioner

Andning	Utsläppspunkt (ex. ventilationsgaller) med varierande flödesriktning.
Biofilter, (kompostfilter)	Ventilationsluft leds igenom filter bestående av exempelvis jord, kompost, lecakulor eller bark. Föroreningar i luften absorberas i filtermaterialet och bryts ned av mikroorganismer.
Karburerad gas	För att rengas (renad och uppgraderad gas) skall få tillföras naturgasnätet krävs att värmevärdet i gasen höjs för att motsvara naturgasens värmevärde. Detta görs genom att propan blandas i rengasen. Blandningen benämns karburerad gas.
Metanflöde	Metanhalt multiplicerat med totalt gasflöde, anges i Nm ³ /h eller Nm ³ /år
Normalkubikmeter, Nm ³	Volym vid 273,15 K (0 °C) och 1,01325 bar.
Samrötningsanläggning	Anläggning där flera olika substrat rötas samtidigt. I Sverige är rötning av gödsel tillsammans med avfall från livsmedelsindustri och hushållsavfall vanligt förekommande. Benämns i denna rapport som biogasanläggning.
Restgas, (offgas, stripperluft)	Koldioxidrik gas som avskiljs från biogasen i uppgraderingsanläggningar. Gasen innehåller koldioxid och låga halter metan. Vid användning av recirkulerande vattenskrubber är restgasen utspädd i luft och vid enkelt genomströmmande vattenskrubber finns restgasen i det utgående vattnet. Används Pressure Swing Adsorption (PSA) eller kemisk absorption för avskiljning av koldioxid är restgasen inte utspädd med luft.



Figur 1. Generellt flödesschema, trianglar indikerar mätpunkter för anläggningens instrument för flöde och metanhalt

3 Bakgrund

I detta kapitel ges en mycket kort bakgrund till biogasområdet.

3.1 Biogas

Ett biogassystem är komplext och det kan förekomma ett antal olika emissioner från en rad olika delar av systemet. Vid biogasanläggningen sker produktionen av biogas, s.k. rågas (Figur 1). Om biogasen skall användas som fordonsgas eller matas in på naturgasnätet behöver den först behandlas i en gasreningsanläggning (eller uppgraderingsanläggning), där föroreningar och koldioxid avskiljs, vilket ger s.k. rengas (Figur 1). Se Tabell 1 för karaktäristiska data.

Tabell 1. Karaktäristiska data för rågas och rengas.

	Rågas	Rengas
CH ₄ , metan	45-85 vol-%	95-99 vol-%
CO ₂ , koldioxid	15-45 vol-%	<5 vol-%
H ₂ S, svavelväte	<5 ppm	<1 ppm
N ₂ , kvävgas	<5 vol-%	<5 vol-%

3.2 Metan, CH₄

På 100 års sikt har metan ca 23 gånger starkare påverkan på växthuseffekten än koldioxid. Utsläpp av ett kilogram metan ger således lika stor påverkan på växthuseffekten som utsläpp av 23 kilogram koldioxid. Det finns stora kvantiteter metan i biogassystemet och då metan är en stark växthusgas är det av stor vikt att minimera utsläppen av metan. Där det finns utsläpp i biogas- eller uppgraderingsanläggningar förekommer i princip alltid metan.

Metan bildas vid anaerob nedbrytning av organiskt material. Förutom i röt-kammare sker detta naturligt i andra syrefria miljöer som våtmarker och sjösediment. Utsläpp sker även från idisslande djur och vid gödselhantering. Utsläppen av metan från idisslare kan inte minskas, däremot kan utsläppen från gödsel reduceras, t.ex. genom att röta den.

3.3 Rötning

Traditionellt har rötning skett vid avloppsreningsverk där slam från reningsverk använts som substrat. Det huvudsakliga skälet till denna rötning har varit att stabilisera slammet. Biogasen har i mångt och mycket setts som en biprodukt från den processen. Under 1990- och 2000-talen har flera anläggningar byggts för rötning av biologiskt avfall. Anläggningar finns som hanterar i huvudsak industriellt avfall (ex. från livsmedelsproduktion eller slakteri) eller insamlat hushållsavfall. Även gödsel från kreatur kan rötas, ex. som samrötning med andra substrat.

Rötning kan ske i två olika temperaturnivåer, antingen s.k. mesofil rötning vid ca 37 °C eller s.k. termofil rötning vid ca 55 °C.

3.4 Uppgradering

Om biogasen skall användas som fordonsgas eller matas in på naturgasnätet måste den uppgraderas, d.v.s. renas från koldioxid. Den vanligaste tekniken är vattenskrubber där gasen tvättas ren i vatten. I PSA-anläggningar adsorberas koldioxiden i kolonner fyllda med t.ex. aktivt kol. I kemisorptionsanläggningar (ex. COOAB) sker adsorption av koldioxiden till en amin-baserad kemikalie. En ny typ av uppgraderingsteknik är den kryogena tekniken där gasen renas genom att kylas till den temperatur där koldioxiden kondenserar eller sublimerar (d.v.s. går direkt från gasfas till fast fas).

4 Mätmetoder och utrustning

I detta kapitel presenteras de mätmetoder och den mätutrustning som ska användas vid bestämning av metanförluster vid biogas- och uppgraderingsanläggningar.

4.1 Metan

Det finns många mätprinciper och metoder som detekterar kolväten eller brännbara ämnen som grupp. De metoder som kan särskilja metan i en sådan blandning av ämnen är dock få.

Valet av mätmetod för att bestämma metanhalten i en utsläppspunkt beror på flera faktorer:

- Mätområde (halten varierar mellan enstaka ppm och tiotals % i olika punkter)
- Andelen av registrerade kolväten eller explosiva ämnen som är metan
- Variationer i halt över tid
- Föroreningar och fukt i provpunkten
- Innesluten eller öppen provpunkt (typiskt skorsten/rör kontra biofilteryta)
- Prov i gasfas eller vätskefas

Som huvudregel gäller att metanhalten skall bestämmas med FID-instrument (flamjonisationsdetektor) utrustad med Cutter. Denna mätmetod är etablerad och internationell standard för bestämning av metan i utsläpp, har ett brett span med mätområden, den är specifik för metan och variationer i tid kan följas med ansluten datalogger (se kapitel 4.1.1).

FID-instrument har vanligen ett mätområde upp till 100 000 ppm (10 vol-%). För högre halter än detta, eller högre halter än det mätområde som instrumentet använder, tas pås prover för senare analys på laboratorium. Detta är också en etablerad metod och den är också specifik för metan, men det är endast ett ögonblicksvärde vid provtagning som erhålls (se kapitel 4.1.2).

Om utsläppet i mätpunkten är mindre än 0,1 % av den totala mängden metan i anläggningen och mindre än 10 % av de totala förlusterna så kan en förenklad haltbestämning göras med portabelt läcksökningsinstrument (se kapitel 4.1.3).

För en viss typ av teknik för uppgradering av gas till fordonsgas, s.k. enkelt genomströmmande vattenskrubber, är utsläppet av metan och därmed också provet i vätskefas (se kapitel 4.1.4).

4.1.1 FID med Cutter

Vid emissionsmätning används ett FID-instrument med tillhörande Non-Methane Hydrocarbon Cutter, hädanefter kallad *Cutter*, vilken filtrerar bort alla kolväten som inte är metan från gasblandningen. Metoden finns beskriven i svensk standard (SS-EN ISO 25140:2010, Utsläpp och utomhusluft - Automatisk metod för bestämning av metankoncentrationen med flamjonisationsdetektor (FID)). Se Figur 2 för ett exempel på hur utrustningen kan se ut.

För vissa utsläppspunkter på uppgraderingsanläggningar gäller att mätning görs av några hundratals ppm metan i CO₂, varför speciell hänsyn i dessa fall måste tas till instrumentets interferens med CO₂. Denna interferens skall utredas och bestämmas.

Instrumentet ger ett omedelbart provsvar och med tillhörande datalogger kan variationer i halter följas under en längre tid.



Figur 2. FID-instrument med inbyggd Cutter från tillverkaren JUM. Bildkälla: cleanair.com

4.1.2 Påsprover

Med hjälp av gaspåsar (se Figur 3) eller gaspipetter kan gasprover samlas in och analyseras på laboratorium med gaskromatograf (GC). Gaskromatografi bygger på att ämnena i ett gasprov separeras från varandra och identifieras genom att registreras i ett upplösningsspektrum där varje topp är karakteristisk för ett visst ämne. GC-analys särskiljer därmed alltid metan från övriga kolväten. Fördelar med påsprover är att hela koncentrationsintervallet kan täckas in, från någon enstaka ppm upp till rengaskvalitet på 95-98 % CH₄ kan analyseras. Nackdelen är att påsprovet ger ett ögonblicksvärde som enbart motsvarar halten metan vid själva provtillfället.

Metoden för provtagning och analys finns beskriven i utkast till internationell standard (FprEN ISO 25139:2011, Stationary source emissions — Manual method for the determination of the methane concentration using gas chromatography). Denna standard förväntas bli slutgiltigt antagen och publicerad under 2011.

Viktigt att tänka på vid provtagning är att låta pumpen spola slangarna med provgas innan påsen ansluts. I standardförslaget FprEN ISO 25139 upptas påsar tillverkade av polyetylen (PE) eller polyvinylflourid, speciellt aluminiumbelagda PE-påsar rekommenderas där lagring kan ske i 10 dagar eller mer utan signifikanta förluster. PET-påsar bör ej användas. PTFE-slang används för anslutning av påsen.



Figur 3. Gaspåse från tillverkaren SKC. Bildkälla: www.skinc.com

4.1.3 Läcksokningsinstrument

Läcksokningsinstrument för detektion av metan kan baseras på olika mätmetoder. Vanliga metoder är halvledarsensorer eller katalytiska sensorer. Halvledarsensorn består av en eller flera metalloxider och värms upp till en specifik temperatur, beroende på vilken gas som skall detekteras. När gasen träffar sensorn så joniseras den av metalloxiden och elektroner kommer i rörelse varvid en konduktivitetsförändring uppstår. Ju mer gas som detekteras, desto större signal ger sensorn. Läcksokningsinstrument med katalytisk sensor bygger på att en oxidation av gasen sker när gasen kommer i kontakt med instrumentets mätsensor, t.ex. en uppvärmd spiraltråd. Som ett mått på gasens koncentration uppkommer en förändring i strömmen genom mätsensorn.

Det är viktigt att skilja på läcksokningsinstrument och gasvarnare. Läcksokningsinstrument ska ange mätresultat som en halt på en display. Instrumentet ska vara försett med pump och mätsond, se Figur 4.



Figur 4. Läcksokningsinstrument med mätsond och gasvarnare utan mätsond. *Bildkälla: www.sewerin.com*

Läcksokningsinstrumenten har många användningsområden på en biogasanläggning, speciellt ett instrument med många mätområden. Som namnet antyder används de vid läcksokning i processen, vilket beskrivs mer utförligt i Kapitel 9. Man ska heller inte glömma att de kan användas i samband med genomförda arbeten i processen, för att direkt kontrollera att man har fått det tätt.

Mer avancerade instrument, som anger uppmätt halt på en display, kan användas för att identifiera utsläppskällor och för att snabbt få ett ungefärligt värde på halten metan i utsläppet. På

en biogasanläggning kan man hitta utsläppskällor som har halter på allt mellan någon enstaka ppm till många vol-% varför det är bra att välja ett instrument med många mätområden.

Gasvarnare är, som namnet antyder, ett mer indikativt instrument som används för personskydd i samband med arbeten i lokaler där farlig gas kan uppträda. Dessa har vanligen inte någon mätsond och ger ofta ej heller halten gas som ett värde utan istället indikeras nivåer med olika ljus- och ljudsignaler.

Om utsläppet i mätpunkten är mindre än 0,1 % av den totala mängden metan i anläggningen och mindre än 10 % av de totala förlusterna så får den avlästa halten på läcksökningsinstrumentet användas vid utvärderingen istället för noggrannare mätmetod (FID med Cutter eller analys av påsprov).

För att ett läcksökningsinstrument skall få användas i syftet att bestämma metanhalten i utsläpp ställs följande krav:

- Instrumentet skall ange metanhalten som ett siffervärde på display
- Detektionsgränsen skall vara högst 1 ppm
- Tillverkaren/leverantörens rekommenderade serviceintervall skall följas
- Tillverkaren/leverantörens rekommenderade kalibreringsintervall skall följas

4.1.4 Metan i vatten

Då uppgraderingsanläggningen är av typen enkelt genomströmmande vattenskrubber är metanutsläppet i vattenfas. Den metod som rekommenderas för att bestämma metanutsläppet är att innesluta en bestämd mängd vattenprov i ett rör som man sedan under uppvärmning låter avgasas till en gaspåse, se kapitel 8.4.

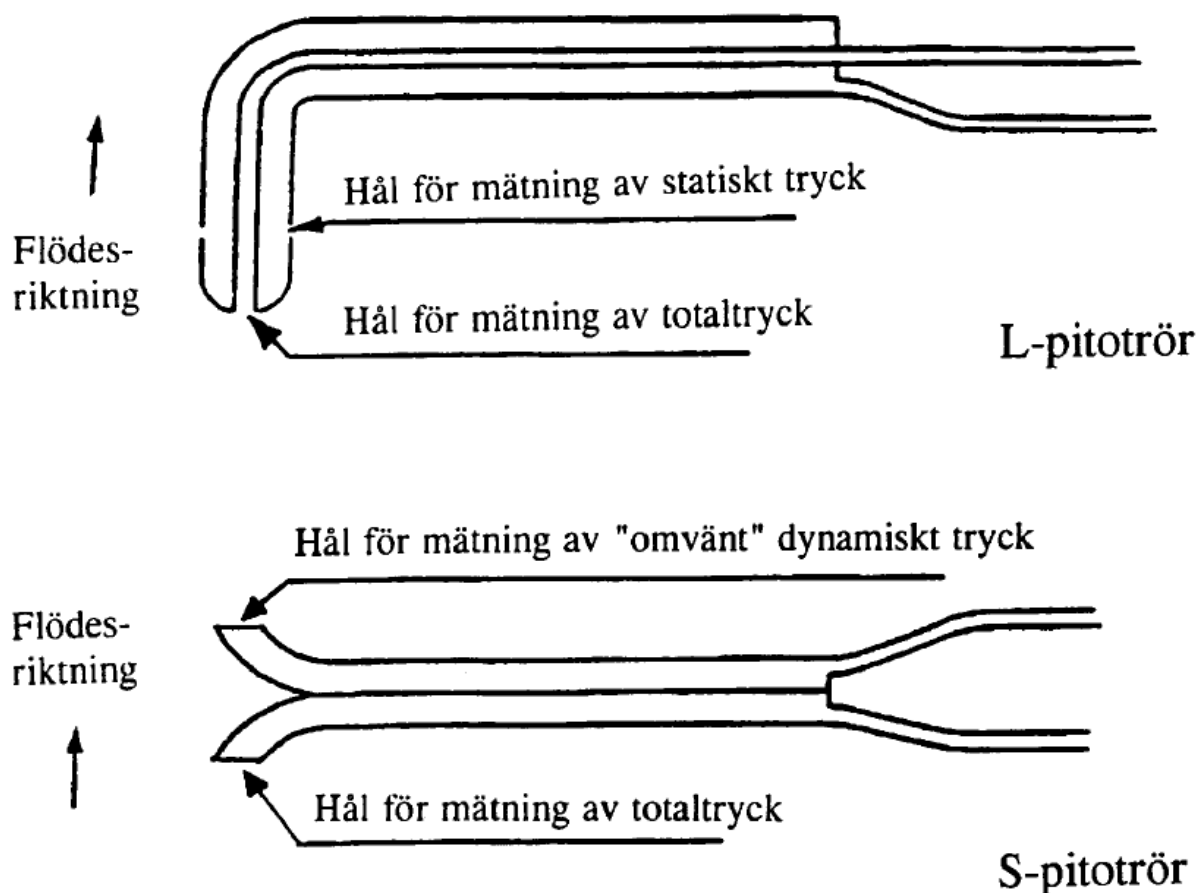
4.2 Gasflöde

Att bestämma gasflödet är ofta den största utmaningen vid denna typ av mätningar eftersom förhållandena varierar mycket mellan olika provpunkter och anläggningar, och eftersom provpunkterna sällan är förberedda för mätning. Man bör alltid sträva efter att genomföra en mätning av flödet, men i många fall är det tekniskt eller praktiskt svårt att göra det. I dessa fall får man istället förlita sig på andra metoder som exemplifieras nedan.

På anläggningarna förekommer allt ifrån mycket låga, knappt mätbara, flöden (t.ex. avluftning) till mycket höga flöden (20-30 000 m³/h), varför flera olika typer av givare som regel måste användas. I en del fall, t.ex. restgasflöde från PSA, är det dessutom nödvändigt att kunna logga mätsignalen med en hög tidsupplösning.

4.2.1 Flödet i ett rör

Den primära metoden för flödesbestämning är pitotrörsmätning med differenstrycksmätare, metoden finns beskriven i svensk standard (SS-ISO 10780:1995, Utsläpp och utomhusluft – Mätningar av gasströmmars hastighet och volymflöde i rörledning). Många gånger är provgasen mättad med vatten varför S-pitotrör är att föredra, speciellt vid längre mätperioder. En alternativ metod är att använda varmtrådsgivare, som ofta också fungerar bättre än L-pitotrörsmätning vid fuktiga gaser.



Figur 5. Uppbyggnad av L-pitotrör och S-pitotrör. Bildkälla: Värmeforsks Mäthandbok 2005

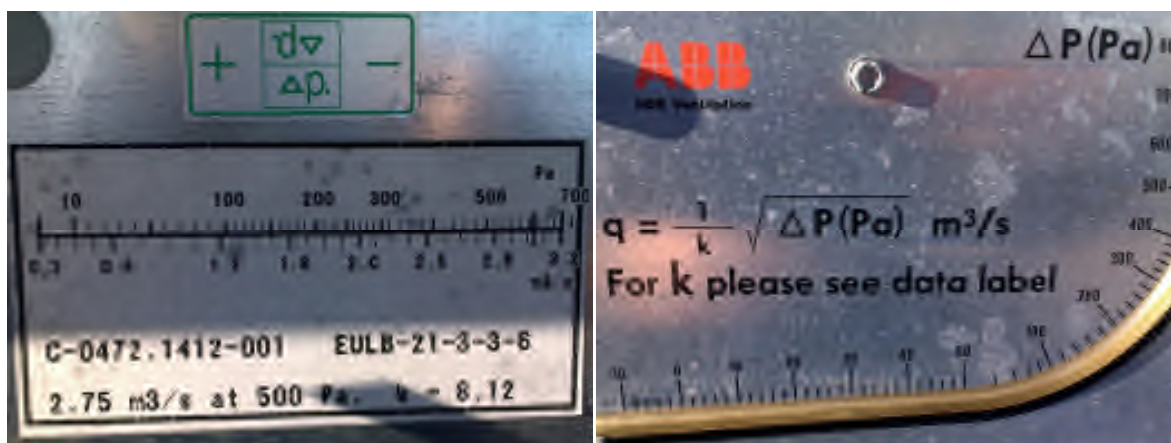
Gemensamt för alla dessa mätmetoder är att de mäter gashastigheten. Flödet räknas ut genom att multiplicera den uppmätta gashastigheten med tvärsnittsarean. Samtliga mätmetoder påverkas av flödesbilden i tvärsnittet varför ostörda och raka kanaler/rör krävs före och efter mätpunkten för god noggrannhet i mätningen. Ett vanligt mått är att kräva 5 raka och ostörda diametrar uppströms mätpunkten och 2 nedströms.

4.2.2 Ventilationsöppning

Med en känslig varmtrådsgivare kan flödet i en ventilationsöppning bestämmas. Mätning sker då i utsläppspunkten, t.ex. invid ventilationsgaller eller liknande. För mätning i självdragsventilation krävs varmtrådsgivare med detektionsgräns 0,1 m/s.

4.2.3 Fläktdata

I de fall då det inte är praktiskt möjligt att mäta flöde kan man använda tillverkarens fläktdata med flödeskurvor för att bestämma luftflödet. Ibland finns även möjlighet att bestämma tryckdifferensen över fläkten genom att ansluta differenstrycksgivaren till fast monterade anslutningar, se Figur 6.



Figur 6. Exempel på fast monterad tryckmätare på ventilationsaggregat.

4.2.4 Schablon

För väggmonterade axialfläktar (se Figur 7) kan följande formel användas för att beräkna det ungefärliga flödet

$$Q = 16,5 \cdot P + 500$$

där Q är flödet i m³/h och P är fläktmotorns nominella effekt i Watt (1-fas 230 V).



Figur 7. Väggmonterad axialfläkt. Bildkälla: www.alaskon.co.nz

Som en sista utväg för att bestämma flöde får schablonvärden enligt Tabell 2 användas.

Tabell 2. Schablonvärden för luftflöde

Utsläppspunkt	Egenskaper	Flöde
Ventilationsfläkt, tak/vägg (mindre)	Mindre utrymme ex. gasutrustningsrum eller container (uppgradering)	3 000 Nm ³ /h
Ventilationsfläkt, tak/vägg (större)	Större lokaler	6 000 Nm ³ /h
Avluftning och annan självdragsventilation	Kännbart men ej detekterbart flöde	Ansätt 0,1 m/s

All rapportering skall innehålla uppgift om hur flödet har bestämts.

5 Utsläppspunkter

I detta kapitel beskrivs kortfattat vanliga utsläppspunkter i anläggningar.

5.1 Biogas- och slamrötningsanläggningar

- **Ventilation**

Detta är den enskilt viktigaste punkten med systematiska utsläpp. Vissa anläggningar har ett enda stort ventilationssystem där flera delflöden samlas för någon form av luktbehandling. Andra anläggningar har flera enskilda ventilationssystem i lokalerna och processutrustningen. För samtliga system gäller att det är utsläppen, om möjligt efter eventuell behandling, som skall bestämmas. Ofta är såväl förbehandling, efterbehandling som rötrestlager ventilerade. Även gasutrustningsrum är ventilerade, som regel enskilt. Både mekanisk ventilation och självdraagsventilation förekommer.

- **Blandningstank**

Vid en del anläggningar finns en blandningstank (suspensionstank) innan röt-kammaren. Under ogynnsamma förhållanden såsom för lång uppehållstid i blandningstank eller vid återföring av processvätska för spädning påbörjas metanbildningsprocessen i blandningstanken. Mätning av eventuellt metan skall göras i avluftningen.

Det förekommer att betydande mängder vätgas bildas i blandningstankar, vilket kan vara en förklaring till skillnader mellan resultat från läcksökningsinstrument och FID/Cutter (eller GC).

- **Processvattentank**

Vid en del anläggningar finns en processvattentank där metanutsläpp kan ske. Mätning av eventuellt metan skall göras i avluftningen.

- **Rötkammare**

De utsläppspunkter på rötkammare som kan förväntas ha systematiska utsläpp är bräddavloppen, som i vissa fall öppnas regelbundet och i andra fall står helt öppna. Ibland är rötkammartoppen inbyggd och samlade läckage kan då bestämmas i ventilation, i några fall finns mekanisk sådan.

- **Rötresttank**

Efter uppehållstiden i röt-kammaren pumpas rötresten vidare till en rötresttank, ibland för tillvaratagande av efterproducerad gas (efterrötning). I de fall då efterproducerad gas ej tas om hand i gassetmet förekommer emissioner som i vissa fall kan vara betydande (upp till 10 % är en siffra som brukar nämnas, se vidare Kapitel 6.7).

- **Avvattning**

Rötresten kan avvattnas med flera olika tekniker, och metanutsläpp till luft kan ske via separat ventilation eller till gemensam ventilation. Mätning av utsläpp bör göras vid toppen på avvattningsskolonnen. Även i annan öppen hantering, t.ex. i siktning, bör metanutsläpp bestämmas.

Det förekommer både direkta utsläppspunkter som separat ventilation (ex. från centrifug) och diffusa utsläpp till lokalen där avvattningsutrustningen är placerad.

- **Rötrestlager (Biogödsellager)**

Lagring av rötrest (biogödsel) varierar mellan olika anläggningar, eftersom en del endast har flytande rötrest och andra anläggningar har både en flytande och fast fraktion. Även behållaren för lagring av flytande rötrest varierar. På en del anläggningar är rötresttank (se ovan) och rötrestlager densamma, och på andra anläggningar pumpas rötresten från röt-kammare via rötresttank och avvattning till rötrestlagret.

Fast rötrest lagras oftast i en öppen container. Precis som för flytande rötrest är det tänkbart att efterproduktion av metan sker i materialet.

Det är vanligt att rötrest transporteras från anläggningen till olika satellitlager för senare spridning eller bearbetning. Systemgränsen sätts vanligen så att lager vid anläggningen inkluderas i bestämningen, men inte satellitlager.

- **Analysinstrument**

Genom anläggningens fast installerade gasanalysinstrument passerar kontinuerligt ett gasflöde. Metanhalten i denna gas är känd och flödet kan vanligen avläsas på rotametrar som finns monterade invid instrumenten.

5.2 Uppgraderingsanläggningar

- **Restgas**

Den viktigaste punkten i emissionssynpunkt på en uppgraderingsanläggning är restgasen, eller offgasen. Det är den del av rågasen som avskiljts i processen. Optimalt sett består restgasen av ren koldioxid, men varierande halter metan och andra ämnen, exempelvis svavelväte, ingår. Via restgasen sker ett kontinuerligt metanutsläpp.

- **Ventilation**

Förutom restgasen skall även uppgraderingsanläggningens ventilation ingå, då samtliga läckor och diffusa utsläpp i gasutrustningen samlas upp här.

- **Analysinstrument**

Ibland finns analysinstrument monterade i uppgraderingsanläggningen och dessa utsläpp skall då bestämmas, se kapitel 5.1.

6 Genomförande

I detta kapitel beskrivs hur mätningarna planeras och genomförs.

6.1 Anläggningsdata

Till de beräkningar som görs för att bestämma metanförlusten i anläggningen behövs ett flertal uppgifter om den aktuella och genomsnittliga driften av anläggningen. Data för den aktuella driften tas från anläggningens styrsystem eller med avläsning direkt på respektive mätinstrument.

Uppgifter om genomsnittlig metanhalt och årsproduktioner fås från styrsystemets loggning eller på annat sätt genom anläggningspersonalens försorg. Detta kan vanligtvis tas fram med hjälp av statistik över produktionen och genomsnittlig metanhalt. Finns inte denna information tillgänglig får uppgiften istället beräknas utifrån gasflöden och metanhalt vid inventeringen och antalet drifttimmar för anläggningen per år.

Följande uppgifter behövs från anläggningen:

Biogas- eller slamrötningsanläggning:

- Aktuell metanhalt i rågas (vol-%)
- Aktuell producerad mängd biogas (rågas) (Nm^3/h)
- Årsmedelvärde metanhalt i rågas (vol-%)
- Producerad mängd biogas (rågas) i anläggningen per år ($\text{Nm}^3/\text{år}$)

Uppgraderingsanläggning:

- Aktuell metanhalt i rågas (vol-%)
- Aktuell mängd inkommande rågas till anläggningen (Nm^3/h)
- Årsmedelvärde metanhalt i rågas (vol-%)
- Ingående mängd rågas till anläggningen per år ($\text{Nm}^3/\text{år}$)

Notera att producerad mängd rågas, och inkommande mängd rågas till uppgradering, normalt skiljer åt till följd av exempelvis fackling (jämför Figur 1)! Många uppgraderingsanläggningar har möjlighet att recirkulera rengasen vid ex. lågt energivärde, det är därför viktigt att kontrollera var i processen olika flödes- och gashaltsmätare sitter installerade.

För uppgraderingsanläggningar skall även metanförlusterna relateras till mängd levererad gas (rengas) eftersom rengasmätning generellt sätt kan göras mer noggrant än mätning på rågas. Följande uppgifter behövs därför också från anläggningen:

- Aktuell metanhalt i rengas (vol-%)
- Aktuell mängd levererad rengas från anläggningen (Nm^3/h)
- Årsmedelvärde metanhalt i rengas (vol-%)
- Levererad mängd rengas från anläggningen per år ($\text{Nm}^3/\text{år}$)

Vid uppgraderingsanläggningar som levererar gas till naturgasnätet finns vanligen också mätning av s.k. karburerad gas som är den gas som anläggningen levererar till nätet. Denna skall dock inte användas vid bestämning av metanförlust, utan det är rengasen före karburering som skall användas.

6.2 Bestämning av metanförlust

Mätningar skall genomföras under normala driftförhållanden för att utsläppen som mäts sedan skall kunna extrapoleras till årsbasis. Normala driftförhållanden gör att uppgifterna blir mer representativa. Man skall dock vara medveten om att mätningar ger en ögonblicksbild av situationen på anläggningen.

För att noggrant bestämma storleken på respektive utsläpp bör mätning ske under en längre tid och mätvärden loggas i en dator för resultatutvärdering. Mätning bör utföras till dess att det konstateras att halten är stabil eller följer en bestämd variation. Som tumregel rekommenderas minst en timmes mättid i varje utsläppspunkt.

Metanförlusten i varje utsläppspunkt bestäms relativt det momentana metanflödet i anläggningen, d.v.s. hur stor andel av den producerade eller behandlade mängden metan som förloras i processen.

Metanförlusten beräknas alltid relativt det uppmätta metanflödet i rågasen. För uppgraderingsanläggningar beräknas metanförlusten också relativt det uppmätta metanflödet i rengasen. Det senare anses vanligen ge ett mer tillförlitligt värde eftersom flödesmätning av rengas är behäftat med betydligt färre felkällor än rågasmätning (ex. fukt och partiklar).

Mer om beräkningar finns i kapitel 7.

6.3 Ventilationsluft

Mätning i ventilationsluft ger en sammantagen bild av diffusa utsläpp från flera komponenter och anläggningsdelar i det ventilerade utrymmet. Detta utsläpp kan kvantifieras genom att halten metan som uppmäts i ventilationsluften multipliceras med luftflödet. Är luftflödet inte känt kan det ofta fås fram med hjälp av data från ventilationsfläkten. Som sista utväg används schablonvärden i Tabell 2.

Ventilationsfläktar kan ibland vara temperaturstyrda i vilket fall man även måste göra en uppskattning eller avläsning av hur stor del av tiden på året som fläkten är i drift.

Vid en del anläggningar är många processdelar anslutna till en stor gemensam ventilationsanläggning. Då kan man behöva mäta under längre tid för att upptäcka variationer i halter. Det finns exempel på anläggningar där slamcentrifuger till stor del bidrar till de totala utsläppen, och man kan räkna med två olika nivåer på utsläppen, med och utan slamcentrifug i drift. Vid beräkningarna får man då ta hänsyn till drifttiden på centrifugerna.

6.3.1 Ventilationsrör

Eftersträva alltid mätning i ostörda raksträckor. Ofta går det bra att borra upp nya hål för provtagning, men stäm av detta med anläggningens representant och kontrollera alltid själv att gasen inte är explosiv.

Mätning på trycksida av fläkt är ofta att föredra, men ibland kan det också vara nödvändigt att bestämma olika delflöden på sugsidan, se exempel Figur 8.



Figur 8. Ventilationsfläkt med 3 st delflöden på sugsidan och 2 st delflöden på trycksidan.

Biofilter antas inte ha någon metanreducerande effekt varför flödes- och metanhaltsmätning bör göras uppströms från dessa. Om biofiltret är slutet finns vanligen en skorsten nedströms. Mätningen kan i sådant fall givetvis genomföras där istället.

6.3.2 Ventilationsöppning i lokal

Eftersträva alltid mätning av metanhalt i ventilationsöppningen/utsläppet, men var observant på att det vid självdragsventilation kan förekomma andning, d.v.s. att omgivningsluft ibland tränger in i lokalen genom ventilationsöppningen. Beroende på årstid kan flödesriktningen ofta enkelt detekteras med temperaturmätning. Om andning förekommer kan metanhalten bestämmas i en punkt på samma höjd som ventilationsöppningen, men någon eller några meter in i lokalen.



Figur 9. Ventilationsöppningar i gasutrustningshus.

Det förekommer både mekanisk tilluft och frånluft i lokalernas ventilationssystem. Var också observant på att stripperluften till en recirkulerande vattenskrubber ibland tas inne i lokal med mekanisk tilluft varför detta flöde måste subtraheras ifrån tilluftflödet om detta har bestämts (se exempel 8.2.2).

Att bestämma flödet i ventilationsöppningar är ofta mycket svårt men med en känslig varmtrådgivare (detektionsgräns 0,1 m/s) kommer man långt. Bestäm flödet i ett antal punkter över tvärsnittet och beräkna medelvärdet. Ofta, men inte alltid, är utsläppen i sådana venti-

lationsöppningar relativt små varför den stora osäkerheten i flödesbestämningen ändå kan accepteras.

6.4 Tankar

Ibland är avluftning på tankar anslutet till det stora gemensamma ventilationssystemet, och då behövs inte mätning på enskilda delar av systemet utan det summerade utsläppet mäts i en utsläppspunkt (om det inte finns speciellt intresse för att studera delarnas bidrag).

Det är dock inte ovanligt att tankarna har enskilda avluftningar med utsläpp till atomsfär, se Figur 10. Andning kan förekomma i dessa utsläppspunkter beroende på hur materialet i tanken pumpas, varför det kan vara nödvändigt att genomföra långtidsmätningar för att studera variationerna. Ett enklare angreppssätt är att bestämma metanförlusten vid en tidpunkt då gas strömmar ur tanken, och sedan tillsammans med anläggningens personal bestämma den andel av tiden som detta förhållande antas råda under ett dygn.

Avluftningsröret kan normalt sett hanteras som ett ventilationsrör, varför metodik i kapitel 4.2.1 kan tillämpas vid mätningen.



Figur 10. Avluftning från blandningstank.

6.5 Analysinstrument

Identifiera de olika gasanalysinstrumenten på anläggningen och notera om de mäter på rågas eller rengas. Observera att det på uppgraderingsanläggningar även kan finnas mätare installerade som mäter halten i rågas med inblandning av recirkulerad rengas, samt på karburerad gas (se Figur 1).

Flöden på rotameternarna läses av (vanliga enheter är lpm (liter/min) eller l/h). Ofta kan det finnas olika delflöden genom separata analysinstrument monterade på en s.k. analyspanel (se Figur 11).



Figur 11. Analyspanel

6.6 Restgas från uppgraderingsanläggning

Restgasen är det flöde av koldioxid som avskiljts i uppgraderingsanläggningen. Detta är normalt sett den stora källan till metanutsläpp och förluster i en uppgraderingsanläggning, eftersom en viss del metan alltid följer med i denna avskiljning (olika mycket beroende på teknik och anläggningsutförande).

Utsläppspunkten är normalt sett ett ventilationsrör. Restgasen kan ibland ledas till en behandlingsanläggning (ex. Vocsidizer) innan den leds till atmosfär och det korrekta är då att mäta utsläppet från behandlingsanläggningen. För uppgraderingsanläggning av typen enkelt genomströmmande vattenskrubber är metanet löst i vatten.

6.6.1 Recirkulerande vattenskrubber

Detta är den vanligaste typen av uppgraderingsanläggning. En fläkt trycker luft genom det s.k. strippertornet vilket gör att restgasen i detta fall är utspädd med luft. Observera varifrån luften till stripperfläkten tas. Det är lika vanligt att den tas inne i processlokalen som att den tas från omgivningsluften. Detta kan då påverka ventilationsflödet vid bestämning av metanförlust i ventilationen.

Mätning vid denna typ av anläggning är förhållandevis enkel då varken flöde eller metanhalt normalt varierar särskilt mycket, se kapitel 6.3.1 om mätning i ventilationsrör. Metanhalt mellan ca 1 000-25 000 ppm och metanförluster på mellan ca 1-6 % förekommer vid olika anläggningar.

6.6.2 Enkelt genomströmmande vattenskrubber

En enklare teknisk lösning är den enkelt genomströmmande vattenskrubben där nytt vatten kontinuerligt strömmar genom anläggningen, oftast är dessa anläggningar placerade vid reningsverk. Processteget med stripper saknas alltså på dessa anläggningar. Utsläppet av metan i den s.k. restgasen sker i dessa anläggningar i vattenfas.

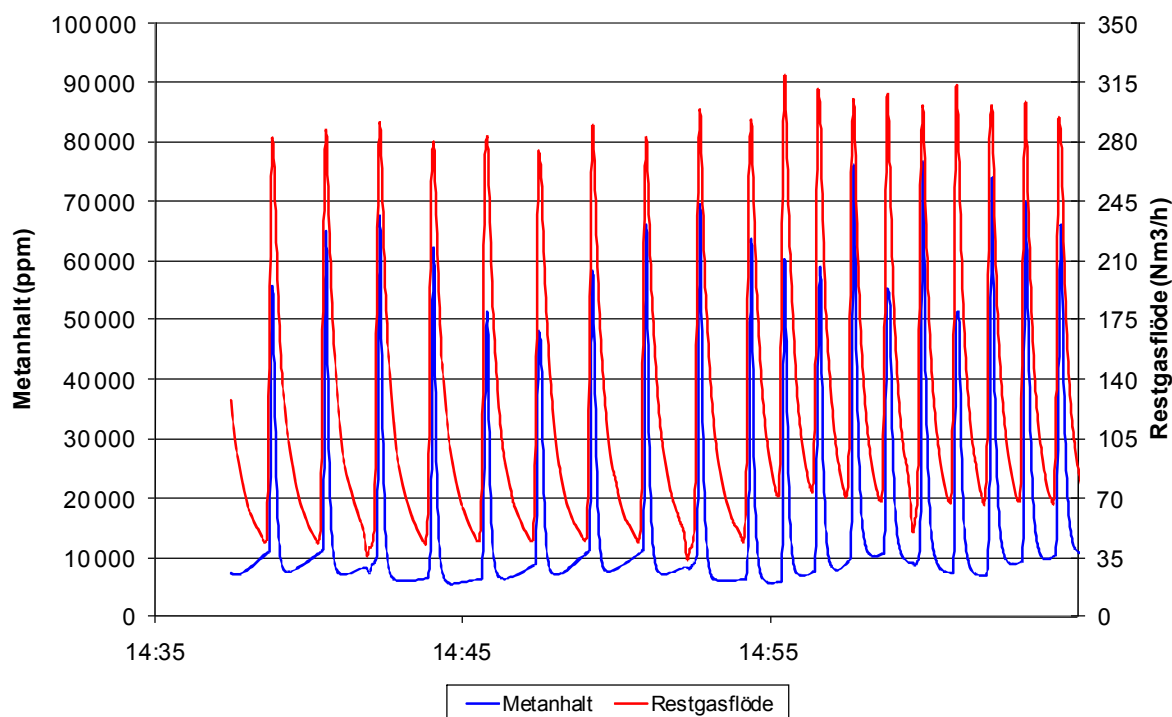
Det utgående vattenflödet mäts normalt sett på anläggningen, i vilket fall detta uppmätta vattenflöde kan användas i beräkningen. I annat fall kan s.k. Clamp-On-mätare användas för att bestämma vattenflödet. Dessa är mobila flödesmätare som monteras utanpå befintliga rörledningar. Se kapitel 4.1.4 för bestämning av metanhalt i vatten.

Det finns exempel på svenska anläggningar där det helt saknas möjlighet att kunna ta prov på utgående vatten.

6.6.3 PSA

I en PSA-anläggning (Pressure Swing Adsorption) finns vanligtvis fyra eller sex adsorptionskolonner, där koldioxiden adsorberas till exempelvis aktivt kol. Kolonnerna är omväxlande i adsorption och omväxlande i regenereringsfas. En vakuumpump regenererar kolonnerna från koldioxid och den mindre mängd metan som finns i dem. Vakuumpumpen regenererar en kolonn under en viss tid (ex. 4 minuter) för att sedan regenerera nästa kolonn. När en kolonn kopplas in för regenerering med vakuumpumpen har restgasen som lämnar anläggningen högst metanhalt och högst flöde i början. Både flöde och metanhalt avtar sedan snabbt och fortsätter att stadigt minska under resterande del av cykeln, se exempel i Figur 12.

Utsläppen sker enligt ett cykliskt mönster där en kolonn i taget släpper den restgas som bundits under adsorptionsfasen. Med några minuters mellanrum detekteras därmed ett högt flöde och en hög metanhalt i utsläppspunkten, där sedan flödet och metanhalten klingar av tills nästa kolonn regenereras, se Figur 12. Metanhalter på mellan <1 till >10 vol-% förekommer.



Figur 12. Exempel på mätresultat från restgasutsläpp vid PSA-anläggning

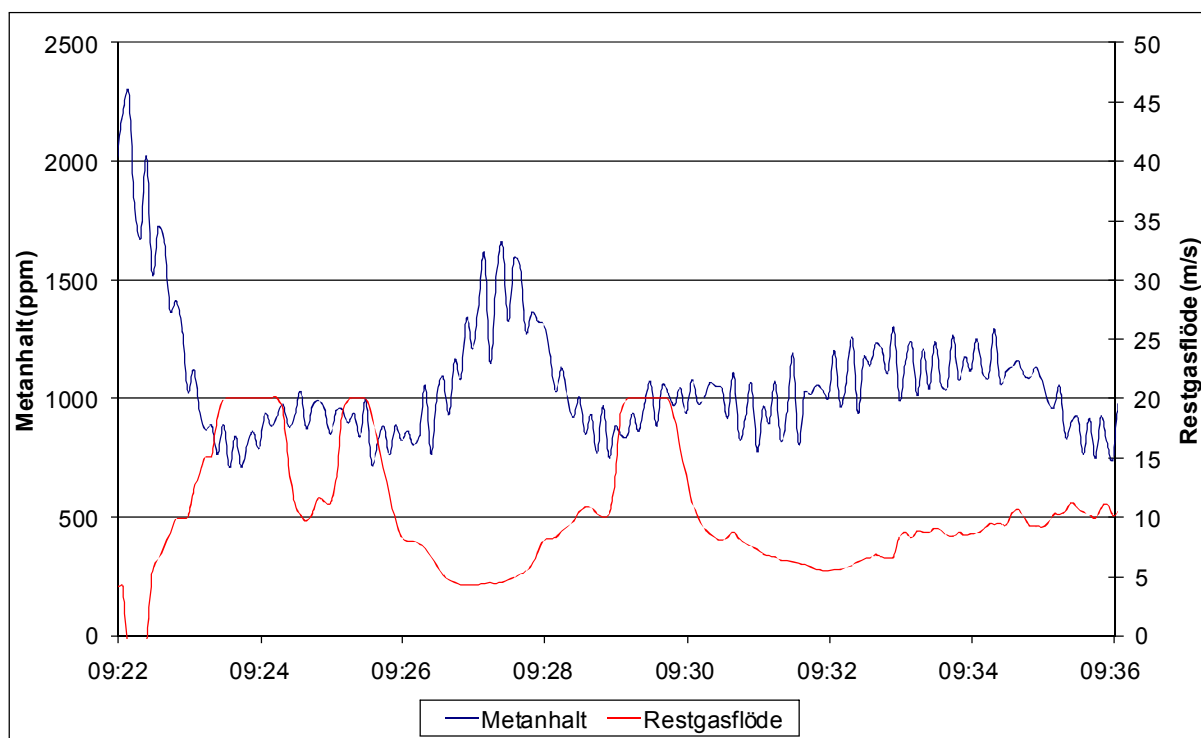
Restgasen är inte utspädd med luft med denna teknik. Utsläppet består huvudsakligen av koldioxid, med låga halter av metan och andra föroreningar.

Metodikerna i kapitel 6.3.1 för mätning i ventilationsrör tillämpas, men för att fånga de snabba förloppen krävs en samplingstid i dataloggern på 1 sekund. För att bestämma utsläppta mängder metan med egna mätningar görs en numerisk integration av mätresultaten för metanhalt

och flöde. Svarstiderna skiljer vanligen mellan FID och flödesmätare varför mätresultaten behöver tidssynkas innan utvärdering. Restgasen är inte utspädd vilket medför att restgasflödet också kan bestämmas från det uppmätta rengasflödet i anläggningen. Båda tillvägagångssätten finns beskrivna i exempel 8.3.

6.6.4 Kemisk absorption

För uppgraderingsanläggningar med tekniken kemisk absorption (ex. COOAB) varierar bilden en del mellan olika anläggningar. Någon anläggning kan ha ett mycket stabilt flöde och metanhalt i utsläppet av restgas, medan någon annan kan ha en aktiv tryckventil som reglerar utsläppen vilket medför att både metanhalt och flöde varierar betänkligt. Exempel på det senare ses i Figur 13. I samtliga fall kan kapitel 6.3.1 om mätning i ventilationsrör tillämpas. Restgasen är mättad med fukt vilket gör att mätning med L-pitotrör är olämpligt, se kapitel 4.2.1. Metanhalter på mellan 200 till 2 500 ppm förekommer.



Figur 13. Exempel på mätresultat från restgasutsläpp vid COOAB-anläggning.

Restgasen är inte utspädd med luft med denna teknik. Utsläppet består huvudsakligen av koldioxid, med låga halter av metan och andra föroreningar.

6.6.5 Kryogen teknik

Detta är en ny typ av uppgraderingsteknik där gasen renas genom att kylas till den temperatur där koldioxiden kondenserar eller sublimerar (direkt från gasfas till fast form). Vid denna handboks publicering har metanmätning ännu ej genomförts vid en kryogen uppgraderingsanläggning inom ramen för Frivilligt åtagande, varför det ej finns några erfarenheter gjorda.

6.7 Rötresttank

Detta är den utsläppspunkt på biogasanläggningar som vanligen ger betydande metanförluster. Ibland hanteras den som en s.k. *efterrötningskammare* där producerad biogas tas om hand i ett slutet gassystem och blandas med biogas från de vanliga rötkamrarna. I ett sådant fall sker heller inga systematiska metanutsläpp och inga mätningar behöver göras här. På andra anläggningar är tanken istället helt öppen, den benämns exempelvis som *avgasningstank*, och där sker stora utsläpp av metan till atmosfär (upp till 10 % är en siffra som brukar nämnas).

I det senare fallet finns det några exempel på inbyggda cisterner med avluftningsrör där metanutsläppen kan bestämmas enligt metodik i kapitel 6.4. Mer vanligt är helt öppna cisterner eller tankar, eller delvis öppna som på Figur 14. Den mättekniska utmaningen är här att bestämma det gasflöde som avgår från tanken.

Det finns veterligen inga etablerade metoder för hur gasflödet ska bestämmas från en öppen eller delvis öppen tank. Ett arbete har inletts under 2011 med att prova olika metoder för detta vilket förhoppningsvis skall resultera i en föreslagen mätmetod för framtiden.

Det minsta möjliga gasflödet från en rötresttank anses motsvara den volym material som pumpas in i tanken under exempelvis ett års tid. Detta lär dock vara en mycket grov underskattning av det verkliga flödet eftersom metanbildning är förväntat i materialet. Denna metod rekommenderas därför ej.

Ett rimligare värde på metanförlusten fås från en enkel matematisk modell som beskriver förhållandet mellan temperaturen i materialet och den lagrade volymen, se kapitel 7.2.



Figur 14. Rötresttank, delvis öppen.

7 Beräkningsformler

Gasflödet (Q) som skall användas vid beräkning av utsläppets storlek skall vara angivet i Nm^3/h . Vid bestämning av flöde i ex. en ventilationskanal skall temperaturen och det statiska trycket bestämmas i kanalen för en omräkning till normaltillstånd. Det kan göras med hjälp av allmänna gaslagen. Temperaturen (T) i gasflödet anges i Kelvin. Det erhålls genom att ta aktuell temperatur i Celsius och addera 273,15. Hela beräkningen blir enligt följande:

$$Q_{utsläpp} (Nm^3 / h) = Q_{utsläpp} (m^3 / h) \cdot \frac{273,15}{273,15 + T (^{\circ}C)} \cdot \frac{p(kPa)}{101,3} \quad (1)$$

Man kan ofta bortse från det statiska tryckets påverkan då mätningar normalt sker i ventilationssystem med tryck som ligger nära atmosfärstrycket.

Metanförlusten i en enskild utsläppspunkt beräknas genom att metanhalten (CH_4) som uppmätts multipliceras med gasflödet i utsläppet. Detta divideras sedan med det totala metanflödet genom anläggningen och då erhålls den relativa förlusten. För en biogasanläggning erhålls det totala metanflödet genom att multiplicera metanhalt (vol-%) i producerad rågas med rågasflödet (Nm^3/h). För en uppgraderingsanläggning erhålls det totala metanflödet genom att multiplicera metanhalt (vol-%) i inkommande rågas med inkommande rågasflödet (Nm^3/h).

$$Förlust_{r\grave{a}} (kvot) = \frac{CH_{4(utsl\ddot{a}pp)} (vol - \%) \cdot Q_{utsl\ddot{a}pp} (Nm^3 / h)}{CH_{4(r\grave{a})} (vol - \%) \cdot Q_{r\grave{a}} (Nm^3 / h)} \quad (2)$$

För uppgraderingsanläggningar skall även förlusten beräknas med indirekt metod, d.v.s relaterat till rengasmätning. Detta görs eftersom rengasmätning generellt sätt har en lägre mätosäkerhet än rågasmätning. Nämnaren ersätts i det fallet med metanflödet i rengasen summerat med samtliga uppmätta förluster, jämför flödesschema i Figur 1.

$$Förlust_{ren} (kvot) = \frac{CH_{4(utsl\ddot{a}pp)} (vol - \%) \cdot Q_{utsl\ddot{a}pp} (Nm^3 / h)}{CH_{4(ren)} (vol - \%) \cdot Q_{ren} (Nm^3 / h) + \sum_{i=1}^n CH_{4(utsl\ddot{a}pp,i)} \cdot Q_{utsl\ddot{a}pp,i}} \quad (3)$$

De metanförluster som beräknas enligt ovan motsvarar den momentana förlusten vid det aktuella driftläget i anläggningen. Vid ett prestandaprov av en uppgraderingsanläggning kan man då få ett mått på metanförlusterna i olika driftfall eller belastning på anläggningen.

Om syftet med mätningen är att bestämma årliga utsläpp räknas metanförlusten om till ett utsläpp per år ($Nm^3/\text{år}$) genom att multiplicera med producerad mängd metan per år i en biogasanläggning, respektive inkommande mängd metan per år i en uppgraderingsanläggning. Denna information kan oftast fås från driftstatistik i form av årlig produktion/inkommande mängd rågas ($Nm^3/\text{år}$) och dess genomsnittliga metanhalt.

$$Utsläpp_{r\grave{a}} (Nm^3 / \text{år}) = Förlust_{r\grave{a}} (kvot) \cdot \text{Totalt genomflöde}_{r\grave{a}} (Nm^3 / \text{år}) \quad (4)$$

För uppgraderingsanläggningar skall även utsläppet beräknas relaterat till rengasmätning, d.v.s. årlig produktion av rengas ($Nm^3/\text{år}$) och dess genomsnittliga metanhalt.

$$Utsläpp_{ren} (Nm^3 / \text{år}) = Förlust_{ren} (kvot) \cdot \text{Totalt genomflöde}_{ren} (Nm^3 / \text{år}) \quad (5)$$

Finns uppgifterna inte tillgängliga på detta sätt beräknas det årliga metanflödet istället genom att multiplicera rågasflödet och metanhalt i rågasen vid mätningen med antalet drifttimmar i anläggningen. För uppgraderingsanläggningar kompletteras med motsvarande rengasberäkning, se nedan.

$$\text{Totalt genomflöde}_{r\grave{a}} \text{ (Nm}^3 \text{ / \r{a}r)} = CH_{4(r\grave{a})} \text{ (vol - \%)} \cdot Q_{r\grave{a}} \text{ (Nm}^3 \text{ / h)} \cdot \text{Drift (h / \r{a}r)} \quad (6)$$

$$\text{Totalt genomflöde}_{ren} \text{ (Nm}^3 \text{ / \r{a}r)} = CH_{4(ren)} \text{ (vol - \%)} \cdot Q_{ren} \text{ (Nm}^3 \text{ / h)} \cdot \text{Drift (h / \r{a}r)} \quad (7)$$

Anläggningens totala metanförlust i % beräknas genom att summan av utsläppen divideras med det totala metanflödet (Nm³/år). Precis som i beräkningarna ovan är det totala metanflödet lika med producerad mängd metan i biogasanläggningen respektive inkommande mängd metan till uppgraderingsanläggningen.

$$\text{Förlust}_{r\grave{a}} \text{ (\%)} = 100 \cdot \frac{\text{Utsläpp}_{r\grave{a}} \text{ (Nm}^3 \text{ / \r{a}r)}}{\text{Totalt genomflöde}_{r\grave{a}} \text{ (Nm}^3 \text{ / \r{a}r)}} \quad (8)$$

För uppgraderingsanläggningar beräknas även förlusten relaterad till rengasmätning.

$$\text{Förlust}_{ren} \text{ (\%)} = 100 \cdot \frac{\text{Utsläpp}_{ren} \text{ (Nm}^3 \text{ / \r{a}r)}}{\text{Totalt genomflöde}_{ren} \text{ (Nm}^3 \text{ / \r{a}r)}} \quad (9)$$

7.1 Mätosäkerhet

Det är svårt att säga något generellt om mätosäkerhetens storlek vid bestämning av metanförlust eftersom förutsättningarna är så olika för de olika teknikerna och enskilda anläggningarna. De beräknade metanförlusterna har en total mätosäkerhet som beror på många felkällor. Om utsläppsmätningarna kan göras kontrollerat (raksträckor etc.) så ligger den huvudsakliga felkällan i bestämningen av metanflödet genom anläggningen, d.v.s. det värde som utsläppet relateras till.

Speciellt mätning i rågas har stor osäkerhet eftersom gasen där är mättad med vattenånga och innehåller många föroreningar (smuts och partiklar). Den indirekta metoden där utsläppen istället relateras till rengasmätning är därför mer tillförlitlig i detta hänseende. För uppgraderingsanläggningar är det förväntat att resultaten för metanförlust kommer att skilja åt mellan beräkningen baserad på rågasmätning och beräkningen baserad på rengasmätning. Det senare resultatet bör som sagt vara mer tillförlitligt eftersom rengasmätningen normalt är mer noggrann.

7.2 Matematisk modellering av metanförlust i rötrest

I en dansk studie (Hansen, Sommer, & Christensen, 2006) finns följande formel för beräkning av metanproduktion i rötrest:

$$E_{CH_4} = 0,0004 e^{0,159t} \quad (10)$$

där E_{CH_4} är produktionstakten (Nm³ CH₄/Mg VS h) och t är temperaturen på rötresten i intervallet 5 till 35°C (VS = våtsubstans).

Med ansättandet av en medelvolym i rötrestlagret (RV , m³) kan det aktuella metanutsläppet beräknas enligt

$$Utsläpp(Nm^3 / \text{år}) = \frac{E_{CH_4} \cdot RV \cdot \rho}{1000} \cdot 24 \cdot 365 \quad (11)$$

där ρ är rötrestens densitet (kan ansättas till 1000 kg/m^3).

8 Exempel

I detta kapitel redovisas exempel på beräkningar från olika utsläppspunkter. De samlade exemplen täcker in många av de varianter som man kan stöta på men det är inte någon heltäckande redovisning. Tanken är att ge olika exempel på hur bestämning kan gå till utifrån olika påhittade exempel.

Samtliga exempel har beräknats i de Excel-mallar som tillhör denna handbok.

Exemplen i kapitel 8.1 och 8.2 gäller för en biogasanläggning med tillhörande uppgraderingsanläggning. Produktionsdata för de båda anläggningarna ges i Figur 15 och Figur 16. Vid mätningens genomförande gick all producerad gas till uppgraderingsanläggningen. På årsbasis skiljer det lite mellan produktionsvärdena p.g.a. fackling av gas.

indata och konstanter			
beräknade data (kan vid behov skrivas över)			
slutresultat			
PRODUKTIONSDATA			RÅGAS
Q (gasflöde)	Nm ³ /h		285,6
CH ₄ (metanhalt)	vol-%		60,8
Momentant metanflöde	Nm ³ CH ₄ /h		173,6
Årsproduktion gas	Nm ³ /år		1 608 947
Metanhalt årsmedel	vol-%		63
Totalt genomflöde	Nm ³ CH ₄ /år		1 013 637

Figur 15. Produktionsdata för biogasanläggning i exemplen.

PRODUKTIONSDATA			RÅGAS	RENGAS	RÅGAS ber	CO ₂ ber
Q (gasflöde)	Nm ³ /h		285,6	152,6	240	94
CH ₄ (metanhalt)	vol-%		60,8	95,8		
Momentant metanflöde	Nm ³ CH ₄ /h		173,6	146,2		
Årsproduktion gas	Nm ³ /år		1 569 851	946 837		
Metanhalt årsmedel	vol-%		63	97		
Totalt genomflöde	Nm ³ CH ₄ /år		989 006	918 432		

Figur 16. Produktionsdata för uppgraderingsanläggning i exemplen.

8.1 Biogasanläggning, exempel

8.1.1 Ventilationsrör

Produktionsanläggningen har en gemensam ventilation för hela anläggningen som mynnar i ett biofilter. Mätning av metanhalt och flöde i ventilationen görs i ett ventilationsrör uppströms biofiltret. Uppmätta värden: metanhalt 518 ppm, temperatur 22 °C, differenstryck (mikromanometer med pitotrör) 30 Pa och rördiameter 40 cm. Resultat: 0,89 % metanförlust, se Figur 17.

VENTILATION 1			
<u>INDATA</u>			
CH ₄ (utsläpp)	ppm	518	
T _{utsläpp}	°C	22	
Differenstryck, p _d	Pa	30	
Rör diameter	cm	40	
<u>KONSTANTER</u>			
p _{utsläpp}	kPa	101,3	
Luft densitet	kg/Nm ³	1,29	
<u>BERÄKNINGSRESULTAT</u>			
Luft densitet	kg/m ³	1,19	
Rör area	m ²	0,126	
Gashastighet	m/s	7,1	
Q _{utsläpp}	l/s	891	
Q _{utsläpp}	m ³ /h	3207	
Q _{utsläpp}	Nm ³ /h	2968	
Metanflöde	Nm ³ CH ₄ /h	1,537	
Förlust (kvot)	-		0,89%
Totalt genomflöde	Nm ³ CH ₄ /år		1 013 637
Utsläpp	Nm ³ CH ₄ /år		8 975
Förlust	%		0,89

Figur 17. Resultat från exempel 8.1.1.

8.1.2 Ventilationsöppning i lokal

Vid produktionsanläggningen finns ett gasutrustningsrum med mekanisk tilluft. Metanhalten uppmäts till 872 ppm i ventilationsöppningen för frånluft. Temperaturen på luften mäts till 28 °C. Ventilationsfläkten har enligt fläktdata ett flöde på 500 l/s. Den resulterande metanför-lusten blir 0,82 %, se Figur 18.

VENTILATION 2		Gasutrustningsrum	
<u>INDATA</u>			
CH ₄ (utsläpp)	ppm	872	
T _{utsläpp}	°C	28	
Differenstryck, p _d	Pa		
Rör diameter	cm		
<u>KONSTANTER</u>			
P _{utsläpp}	kPa	101,3	
Luft densitet	kg/Nm ³	1,29	
<u>BERÄKNINGSRESULTAT</u>			
Luft densitet	kg/m ³	1,17	
Rör area	m ²	0,000	
Gashastighet	m/s	0,0	
Q _{utsläpp}	l/s	500	
Q _{utsläpp}	m ³ /h	1800	
Q _{utsläpp}	Nm ³ /h	1633	
Metanflöde	Nm ³ CH ₄ /h	1,424	
Förlust (kvot)	-		0,82%
Totalt genomflöde	Nm ³ CH ₄ /år		1 013 637
Utsläpp	Nm ³ CH ₄ /år		8 311
Förlust	%		0,82

Figur 18. Resultat från exempel 8.1.2.

8.1.3 Blandningstank

Vid produktionsanläggningen finns en blandningstank med avluftning. Metanhalten i den utströmmande luften har bestämts till 1,3 vol-% med påsprov. Temperaturen på luften har bestämts till 33 °C. Differenstrycket bestäms till 12 Pa med pitotrör. Rörets innerdiameter är 12 cm.

Enligt uppgift från anläggningen så råder förhållandet med större inpumpning än utpumpning (utandning i avluftningen) under ca 6 h av dygnets 24 h.

Den resulterande metanförlusten är 0,31 %, se Figur 19.

VENTILATION 3		Blandningstank	
<u>INDATA</u>			
CH ₄ (utsläpp)	ppm	3 250	6/24 x 1,3 %
T _{utsläpp}	°C	33	
Differenstryck, p _d	Pa	12	
Rör diameter	cm	12	
<u>KONSTANTER</u>			
p _{utsläpp}	kPa	101,3	
Luft densitet	kg/Nm ³	1,29	
<u>BERÄKNINGSRESULTAT</u>			
Luft densitet	kg/m ³	1,15	
Rör area	m ²	0,011	
Gashastighet	m/s	4,6	
Q _{utsläpp}	l/s	52	
Q _{utsläpp}	m ³ /h	186	
Q _{utsläpp}	Nm ³ /h	166	
Metanflöde	Nm ³ CH ₄ /h	0,539	
Förlust (kvot)	-		0,31%
Totalt genomflöde	Nm ³ CH ₄ /år		1 013 637
Utsläpp	Nm ³ CH ₄ /år		3 147
Förlust	%		0,31

Figur 19. Resultat från exempel 8.1.3.

8.1.4 Rötresttank (matematisk modellering)

Vid produktionsanläggningen finns en rötresttank som är delvis öppen mot atmosfären.

Rötrestlagret har en medelvolym om ca 150 m³ rötrest med årsmedeltemperaturen 20 °C. Metanutsläppet beräknas enligt formel (10) och (11) ovan till 12 639 Nm³/år. Metanförlusten i rötrestlagret är då 1,25 %, se Figur 20.

UTSLÄPP			
Rötresttank			
<u>INDATA</u>			
Utsläpp	Nm ³ CH ₄ /år	12 639	
<u>BERÄKNINGSRESULTAT</u>			
Metanflöde	Nm ³ CH ₄ /h	2,165	
Förlust (kvot)	-		1,25%
Totalt genomflöde	Nm ³ CH ₄ /år		1 013 637
Utsläpp	Nm ³ CH ₄ /år		12 639
Förlust	%		1,25

Figur 20. Resultat från exempel 8.1.4.

8.1.5 Analysinstrument

Vid produktionsanläggningen finns två stycken gasanalysinstrument som är kopplade parallellt. Avläsning av de två rotametramna ger 0,4 LPM och 35 l/h. Metanförlusten i analysinstrumenten är 0,02 %, se Figur 21.

ANALYSINSTRUMENT			
<u>INDATA</u>			
Q _{utsläpp} Rågas	lpm (l/min)	1,0	0,4+35/60
<u>BERÄKNINGSRESULTAT</u>			
Q _{utsläpp}	l/h	59	
Metanflöde	Nm ³ CH ₄ /h	0,036	
Förlust (kvot)	-		0,021%
Totalt genomflöde	Nm ³ CH ₄ /år		1 013 637
Utsläpp	Nm ³ CH ₄ /år		209
Förlust	%		0,021

Figur 21. Resultat från exempel 8.1.5.

8.1.6 Total förlust

Den sammanlagda metanförlusten från biogasanläggningen är 3,28 %, se Figur 22.

FÖRLUSTER			
Momentan förlust	Nm ³ CH ₄ /h		5,701
Momentan förlust	%		3,28
Årlig förlust	Nm ³ CH ₄ /år		33 281
Årlig förlust	%		3,28

Figur 22. Resultat från exempel 8.1.1-8.1.5.

8.2 Uppgraderingsanläggning, exempel

8.2.1 Restgas

Anläggningen är av typen recirkulerande vattenskrubber, så restgasen är utspädd med luft s.k. stripperluft. Mätningar i stripperluften ger 2 784 ppm metan, temperatur 15 °C, differenstryck med mikromanometer 309 Pa och rörets innerdiameter är 15 cm.

Stripperluftens densitet kan ansättas till 1,29 kg/Nm³. För en mer korrekt flödesbestämning kan värdet justeras med den ändrade densiteten p.g.a. utspädning med CO₂ (i det aktuella exemplet är O₂-halten ca 19,5 vol-% och CO₂-halten därmed ca 1,5 vol-%).

Den resulterande metanförlusten är 2,17 % relaterat till metanflödet i rågasen och 2,51 % relaterat till metanflödet i rengasen, se Figur 23.

RESTGAS				
<u>INDATA</u>				
CH ₄ (utsläpp)	ppm	2 784		
T _{utsläpp}	°C	15		
Differenstryck, p _d	Pa	309		
Rör diameter	cm	15		
<u>KONSTANTER</u>				
P _{utsläpp}	kPa	101,3		
Luft densitet	kg/Nm ³	1,29		
<u>BERÄKNINGSRESULTAT</u>				
Luft densitet	kg/m ³	1,22		
Rör area	m ²	0,018		
Gashastighet	m/s	22,5		
Q _{utsläpp}	l/s	397		
Q _{utsläpp}	m ³ /h	1 430		
Q _{utsläpp}	Nm ³ /h	1 356		
Metanflöde	Nm ³ CH ₄ /h	3,774	RÅGAS	RENGAS
Förlust (kvot)	-		2,174%	2,511%
Totalt genomflöde	Nm ³ CH ₄ /år		989 006	918 432
Utsläpp	Nm ³ CH ₄ /år		21 497	23 066
Förlust	%		2,17	2,51

Figur 23. Resultat från exempel 8.2.1.

8.2.2 Ventilation lokal

Processhallen är ventilerad med mekanisk tilluft. Enligt dokumentation är flödet 4 100 m³/h vilket verifierats med differenstryckmätning över fläkten. Luften till stripper tas inne i lokalen, resterande luft lämnar lokalen i en ventilationsöppning längst upp i lokalen.

Det uppmätta stripperluftflödet subtraheras från ventilationens tilluft, vilket ger det luftflöde som lämnar lokalen i ventilationsöppningen.

Metanhalten i utgående luft bestäms till 155 ppm och lufttemperaturen till 15 °C.

Den resulterande metanförlusten är 0,23 % relaterat till metanflödet i rågasen och 0,26 % relaterat till metanflödet i rengasen, se Figur 24.

VENTILATION 1	Ventilation i hall				
<u>INDATA</u>					
CH ₄ (utsläpp)	ppm	155			
T _{utsläpp}	°C	15			
Differenstryck	Pa				
Rör diameter	cm				
<u>KONSTANTER</u>					
P _{utsläpp}	kPa	101,3			
Luft densitet	kg/Nm ³	1,29			
<u>BERÄKNINGSRESULTAT</u>					
Luft densitet	kg/m ³	1,22			
Rör area	m ²	0,000			
Gashastighet	m/s	0,0			
Q _{utsläpp}	l/s	0			
Q _{utsläpp}	m ³ /h	4 100			
Q _{utsläpp}	Nm ³ /h	2 531	Subtraherar uppmätt stripperluftflöde		
Metanflöde	Nm ³ CH ₄ /h	0,392	RÅGAS	RENGAS	
Förlust (kvot)	-		0,226%	0,261%	
Totalt genomflöde	Nm ³ CH ₄ /år		989 006	918 432	
Utsläpp	Nm ³ CH ₄ /år		2 234	2 393	
Förlust	%		0,23	0,26	

Figur 24. Resultat från exempel 8.2.2.

8.2.3 Ventilation brunn

Vid anläggningen finns en mekaniskt ventilerad brunn där vatten från anläggningen mynnar. Mätningar ger ett medelvärde på metanhalten av 914 ppm, temperatur 10 °C, differenstryck med mikromanometer 40 Pa och rörets innerdiameter är 10 cm.

Den resulterande metanförlusten är 0,12 % relaterat till metanflödet i rågasen och 0,13 % relaterat till metanflödet i rengasen, se Figur 25.

VENTILATION 2		Brunn			
<u>INDATA</u>					
CH ₄ (utsläpp)	ppm	914			
T _{utsläpp}	°C	10			
Differenstryck	Pa	40			
Rör diameter	cm	10			
<u>KONSTANTER</u>					
ρ _{utsläpp}	kPa	101,3			
Luft densitet	kg/Nm ³	1,29			
<u>BERÄKNINGSRESULTAT</u>					
Luft densitet	kg/m ³	1,24			
Rör area	m ²	0,008			
Gashastighet	m/s	8,0			
Q _{utsläpp}	l/s	63			
Q _{utsläpp}	m ³ /h	227			
Q _{utsläpp}	Nm ³ /h	219			
Metanflöde	Nm ³ CH ₄ /h	0,200	RÅGAS	RENGAS	
Förlust (kvot)	-		0,115%	0,133%	
Totalt genomflöde	Nm ³ CH ₄ /år		989 006	918 432	
Utsläpp	Nm ³ CH ₄ /år		1 138	1 219	
Förlust	%		0,12	0,13	

Figur 25. Resultat från exempel 8.2.3.

8.2.4 Analysinstrument

Vid anläggningen finns två stycken gasanalysinstrument som mäter på rågasen och tre stycken gasanalysinstrument som mäter på rengasen. Avläsning av rotameterna ger 0,4 + 0,4 LPM respektive 0,4 + 0,4 + 0,3 LPM.

Den resulterande metanförlusten är 0,053 % relaterat till metanflödet i rågasen och 0,061 % relaterat till metanflödet i rengasen, se Figur 26.

ANALYSINSTRUMENT				
<u>INDATA</u>				
Q _{utsläpp} Rågas	lpm (l/min)	0,800		
Q _{utsläpp} Rengas	lpm (l/min)	1,100		
<u>BERÄKNINGSRESULTAT</u>				
Q _{utsläpp}	l/h	114		
Metanflöde	Nm ³ CH ₄ /h	0,092	RÅGAS	RENGAS
Förlust (kvot)	-		0,053%	0,061%
Totalt genomflöde	Nm ³ CH ₄ /år		989 006	918 432
Utsläpp	Nm ³ CH ₄ /år		526	563
Förlust	%		0,053	0,061

Figur 26. Resultat från exempel 8.2.4.

8.2.5 Total förlust

Den sammanlagda metanförlusten från uppgraderingsanläggningen är 2,57 % relaterat till metanflödet i rågasen och 2,96 % relaterat till metanflödet i rengasen, se Figur 27

FÖRLUSTER		RÅGAS	RENGAS
Momentan förlust	Nm ³ CH ₄ /h	4,459	4,459
Momentan förlust	%	2,57	3,05
Årlig förlust	Nm ³ CH ₄ /år	25 396	27 183
Årlig förlust	%	2,57	2,96

Figur 27. Resultat från exempel 8.2.1-8.2.4.

8.3 PSA-anläggning

Metanmätning genomförs i en PSA-anläggning med sex adsorptionskolonner, produktionsdata enligt Figur 28. Läs mer om PSA-tekniken i kapitel 6.6.3.

PRODUKTIONSDATA		RÅGAS	RENGAS	RÅGAS ber	CO2 ber
Q (gasflöde)	Nm ³ /h	410,6	281	411	150
CH ₄ (metanhalt)	vol-%	63,6	93		
Momentant metanflöde	Nm ³ CH ₄ /h	261,1	261,3		
Årsproduktion gas	Nm ³ /år	3 311 385	1 950 000		
Metanhalt årsmedel	vol-%	58,21	93,47		
Totalt genomflöde	Nm ³ CH ₄ /år	1 927 557	1 822 665		

Figur 28. Produktionsdata för PSA-anläggning i exemplet.

8.3.1 Numerisk integration

Metanhalt och flöde har bestämts under 55 minuter med loggning varje sekund. Mätning sker i utsläppsrör med diameter 15 cm, där medeltemperaturen bestäms till 44 °C. Justering för olika svarstider mellan FID och flödesmätare görs genom att synka maximal metanhalt och maximalt flöde för varje regenerationscykel.

Data utvärderas med numerisk integration och trapetsmetoden:

$$T = \sum_2^n \frac{h_i}{2} (f_i + f_{i+1}) \quad (12)$$

Då loggning har skett varje sekund sätts $h_i = 1$. Resultatet av integrationen ger ett metanutsläpp av 3,34 Nm³ metan under de 55 minuternas mätning, vilket motsvarar 3,642 Nm³ CH₄/h. Det totala restgasflödet bestäms till 109 Nm³ under 55 minuter, vilket motsvarar 119 Nm³/h.

Insättning av 3,642 Nm³ CH₄/h i Excel-mallen ger en metanförlust på 1,39 % relaterat till metanflödet i rågasen och 1,36 % relaterat till metanflödet i rengasen, se Figur 29.

UTSLÄPP 2 (Nm ³ /h)					
<u>INDATA</u>					
Utsläpp	Nm ³ CH ₄ /h	3,6			
<u>BERÄKNINGSRESULTAT</u>					
Metanflöde	Nm ³ CH ₄ /h	3,642	RÅGAS	RENGAS	
Förlust (kvot)	-		1,39%	1,360%	
Totalt genomflöde	Nm ³ CH ₄ /år		1 927 557	1 822 665	
Utsläpp	Nm ³ CH ₄ /år		26 883	24 781	
Förlust	%		1,39	1,36	

Figur 29. Resultat från numerisk integration.

8.3.2 Medelvärden

Som alternativ metod används medelvärden under de 55 minuternas mättid i en traditionell ventilationsberäkning, metanhalt 24 063 ppm och gashastighet 2,17 m/s. Restgasflödet blir det samma med denna beräkning (119 Nm³/h) men metanförlusten underskattas eftersom metanhalt och flöde inte följs åt under cyklerna. Beräkningarna ger en metanförlust på 1,10 % relaterat till metanflödet i rågasen och 1,07 % relaterat till metanflödet i rengasen, se Figur 30.

Vid en PSA-anläggning kan man välja att ersätta det uppmätta restgasflödet (119 Nm³/h) med ett restgasflöde som räknas fram från anläggningens rengasmätning (150 Nm³/h). Med detta restgasflöde blir metanförlusten istället 1,38 % relaterat till metanflödet i rågasen och 1,34 % relaterat till metanflödet i rengasen, se Figur 30. Enligt vad som sägs i stycket ovan ger medelvärdet av metanhalt en underskattning av metanförlusten vid PSA, så det är troligt att dessa siffror är underskattningar av den verkliga förlusten.

RESTGAS							
<u>INDATA</u>							
CH ₄ (utsläpp)	ppm	24 063					
T _{utsläpp}	°C	44					
Differenstryck, p _d	Pa						
Rör diameter	cm	15					
<u>KONSTANTER</u>							
P _{utsläpp}	kPa	101,3					
Luft densitet	kg/Nm ³	1,95					
<u>BERÄKNINGSRESULTAT</u>							
Luft densitet	kg/m ³	1,68					
Rör area	m ²	0,018					
Gashastighet	m/s	2,17					
Q _{utsläpp}	l/s	38					
Q _{utsläpp}	m ³ /h	138					
Q _{utsläpp}	Nm ³ /h	119					
Metanflöde	Nm ³ CH ₄ /h	2,861	RÅGAS	RENGAS	CO ₂ beräkning		
Förlust (kvot)	-		1,096%	1,068%	RÅGAS	RENGAS	
Totalt genomflöde	Nm ³ CH ₄ /år		1 927 557	1 822 665	1 927 557	1 822 665	
Utsläpp	Nm ³ CH ₄ /år		21 118	19 470	26 565	24 425	
Förlust	%		1,10	1,07	1,38	1,34	

Figur 30. Resultat från traditionell ventilationsberäkning.

8.3.3 Gaspåse

Ett tredje alternativt sätt att bestämma metanutsläpp i restgas från en PSA-anläggning är att samla upp utgående gas från regenerering av en kolonn, en cykel, i en gaspåse för metanalyt. Observera att gasmängden från en cykel kan vara stor, i storleksordningen 2 m³. När metanhalten i gaspåsen är känd, relateras halten till den totala mängden restgas från en cykel och därefter till antalet cykler per timme och vidare till antalet drifttimmar per år.

8.4 Enkelt genomströmmande vattenskrubberanläggning

För denna typ av uppgraderingsanläggning finns utsläpp av metan i vattenfas, läs mer i kapitel 6.6.2.

Den metod som rekommenderas för att bestämma metanutsläppet är att innesluta en bestämd mängd vattenprov i ett rör som man sedan under uppvärmning låter avgasas till en gaspåse, se exempel på provtagningsutrustning i Figur 31. Principen bygger på att metan har minskad löslighet i vatten med ökande temperatur, vilket innebär att metan enkelt släpper från vatten vid uppvärmning.

Ett prov på utgående vatten tas i ett slutet rostfritt rör. Röret har en känd totalvolym och luftmängden kan således beräknas som skillnaden mellan rörets volym och volymen vatten i det uttagna provet.

Vattnet i röret värms sedan upp och gasen samlas upp i gaspåsar kopplade via ventiler och ett spiralformat rör för kondensering av vattenånga. Därefter mäts volymen i gaspåsar, exempelvis genom nedsänkning i vatten och mätning av undanträngd volym vatten. Denna volym adderas till den beräknade luftvolymen i röret före avgasning och summan utgör totalvolymen gas, V_1 .

Ett alternativt sätt att bestämma luftmängden i röret är att, efter avgasning av vattnet, fylla hela röret med vatten och mäta den volym vatten som åtgår för fyllning av röret.

Innehållet i gaspåsar analyseras enligt kapitel 4.1.2 för att bestämma halten metan. Genom att multiplicera erhållen metanhalt i gasanalyser med totalvolymen gas, V_1 , erhålls volymen avgasad metan. Denna volym räknas sedan om till normalliter eller normalkubikmeter, V_0 .



Figur 31. Provtagningsutrustning för mätning av metan i vatten. Bildkälla: BioMil

Det avgasade vattnet innehåller fortfarande en mindre mängd metan. I beräkningen antas att vattnet innehåller metan motsvarande mättnad vid avgasningstemperaturen. Denna halt kan erhållas ur tabelldata eller med löslighetskoefficienten för metan i vatten.

Totalmängden metan, V_M , är summan av V_0 och kvarvarande mängd metan i vattnet och anges i Nl eller Nm^3 . V_M divideras med volymen avgasat vatten, vilket ger Nm^3 metan/ m^3 utgående vatten.

Exempel:

8 liter vatten får avgasas i röret, som har volymen 12 liter. Detta innebär att luftvolymen i röret är 4 liter. Avgasad volym i gaspåsar är 2 liter, vilket innebär att totalvolymen, V_1 , är 6 liter. Analys av gaspåsar innehåller 2 % metanhalt vilket innebär totalt 0,12 liter metan. Trycket vid volymmätning var 1013 mbar (= normalt lufttryck) och temperaturen var 20 °C. Omräkning av gasvolymen ger 0,112 Nl metan. Temperatur vid avgasning är 20 °C. Vatten som är mättat med metan vid 20 °C och 1013 mbar innehåller 0,034 Nl metan/liter vatten. Detta innebär att det avgasade vattnet innehåller $0,034 \cdot 8 = 0,272$ Nl CH_4 . Totala metanmängden blir då $0,112 + 0,272 = 0,384$. Detta innebär $0,384 / 8 = 0,048$ Nl CH_4 /liter vatten, eller $0,048 Nm^3 CH_4/m^3$ vatten. Vid ett vattenflöde i processen på 25 m^3/h är metanförlusten $0,048 \cdot 25 = 1,20 Nm^3 CH_4/h$.

8.5 Andra metoder

För somliga utsläppspunkter saknas möjlighet att bestämma metanförlusten på traditionellt vis genom att bestämma metanhalt och flöde. Oftast beror detta på svårigheter med att bestämma flödet.

8.5.1 Bestämning av metanförlust med läcksökningsinstrument

I många fall kan de totala metanförlusterna från läckor i processutrustning bestämmas genom mätning i ventilationen från lokalerna där utrustningen är placerad. Detta får också anses vara den mest tillförlitliga metoden i de fall då lokalerna är mekaniskt ventilerade. Dock förekommer gasutrustning som är placerad utomhus såväl som i icke ventilerade utrymmen, då andra metoder måste användas.

Inom petroleum- och kemiindustrin (som vanligtvis har processutrustning placerad utomhus) har man i många år använt statistiska metoder för att uppskatta förluster utifrån läcksökningsmätningar. Några av dessa metoder, som länge tillämpats i USA, har publicerats i en svensk standard (SS-EN 15446:2008, Flyktiga och diffusa utsläpp av gemensamt intresse för industrisektorer - Mätning av diffusa utsläpp av ångor genererade av utrustning och rörläckage). Delar av denna standard är tillämpbar på anläggningar med biogas.

Metoden baseras på följande korrelation mellan avläst värde vid läcksökning och metanförlust:

$$ER = A \cdot (SV)^B \quad (13)$$

där ER står för Emission Rate (kg/h) och SV står för Screening Value (ppm på läcksökaren). Värden på konstanterna A och B har hämtats ur det statistiska materialet och varierar mellan olika typer av processutrustning och typer av media (gaser, vätskor). Då mätvärdet överstiger 10 000 ppm (för läcksökare med mätområde mellan 10-100 000 ppm) respektive 100 000 ppm (för läcksökare med mätområde över 100 000 ppm) skall fastställda värden på ER användas istället, se Tabell 3.

Tabell 3. Faktorer för biogasanläggningar enligt SS-EN 15446:2008.

Benämning	Utrustning	A	B	10 000 (kg/h)	100 000 (kg/h)
Valve	Ventil	2,29E-06	0,746	0,064	0,140
Pump seal	Pumptätning	5,03E-05	0,610	0,074	0,160
Connector	Anslutningsdon	1,53E-06	0,735	0,028	0,030
Flange	Fläns	4,61E-06	0,703	0,085	0,084
Open end	Rörände	2,20E-06	0,704	0,030	0,079
Other	Annat	1,36E-05	0,589	0,073	0,110

Resultaten räknas om med densiteten 0,717 kg/m³ och summeras till totalt metanutsläpp i Nm³/h, vilket sedan sätts in i Excel-mallen.

8.5.2 Bestämning av utsläpp från en spricka i t.ex. betongtak

Gasflödet genom en spricka, oavsett material, kan antingen kvantifieras genom att samla upp utströmmande gas i t.ex. en plastpåse, som appliceras tättslutande över hela sprickan, eller genom en strömningsberäkning.

Vid uppsamling i plastpåse är det viktigt att anliggningsytorna mellan påsen och utsläppspunkten är helt gastäta. Tiden för att fylla påsen till lämplig fyllnadsgrad med utströmmande gas mäts. Vid avslutning av mätningen skall påsen inte vara mer fylld än att det på ett säkert sätt går att avlägsna den från mätstället och försluta den utan att gas förloras. Uppsamlad volym i påsen kan mätas genom nedsänkning i vatten och mätning av undanträngd volym, om påsen är liten. Större påsar eller säckar kan tömmas genom en gasmätare av bälgtyp. Ett gasprov tas ut för att bestämma metanhalt enligt kapitel 4.1.2.

Exempel: En plastsäck med ungefärlig volym på 120 liter appliceras runt en spricka i ett betonglock. Betongen borstas ren och exempelvis silikonmassa appliceras runt sprickan. Plastsäcken töms på luft så långt det är möjligt och påsens form noteras så att den senare kan tömmas till samma form. På detta vis tas hänsyn till att säcken inte kan tömmas helt på luft före mätning. Den på luft tömda säcken appliceras med hela öppningen i silikonmassan så att anslutningen blir helt tät. Detta måste ske snabbt så att tidtagning kan starta omgående med helt tät anslutning. När säcken är fylld till mellan 50 och 60 % samlas plasten runt öppningen ihop och säcken försluts snabbt samtidigt som tiden avläses. En slang som är ansluten till en bälgmätare förs ned i den förslutna säcken utan att gas läcker ut. Plastsäcken tätas mot slangens med ett rep eller annan lämplig förslutning och gasen pressas genom gasmätaren med ett flöde som ligger inom mätarens normala mätområde. Säcken töms till samma form som vid applicering ovanför sprickan och gasvolymen avläses på mätaren. Gasen i säcken analyseras med en portabel metanmätare eller genom att ett gasprov tas ut och analyseras på annan plats. Läckaget genom sprickan beräknas som uppmätt volym i liter multiplicerat med metanhalt i vol-% dividerat med uppsamlingstid i minuter. Detta ger verkliga liter metan/minut, V_1 . Volymen korrigeras till normalliter enligt formeln:

$$V_0 \text{ [Nl/min]} = V_1 \cdot (\text{uppmätt tryck i mbara} \cdot 273) / (1013 \cdot \text{uppmätt temperatur i K}),$$

där

mbara = övertryck i mbar+1013 och K = temperatur i °C + 273. Värdena mäts före gasmätaren. För att få läckaget i Nm³/h multipliceras V_0 med 60 och divideras med 1000.

9 Läcksökning

Varje anläggning bör ha en rutin för regelbunden och systematisk läcksökning. En noggrann läcksökning bör genomföras årligen, då hela anläggningen systematiskt går igenom. För en sådan noggrann läcksökning kan det vara en fördel att använda en extern resurs så att man undviker ”hemmablindhet”. Mellanliggande kontroller bör utföras veckovis eller månadsvis som del av ordinarie rondering, enligt ett enklare förfarande som beskrivs här.

9.1 Metoder och instrument

Vid läcksökning bör metoder användas som ger en kvalitativ bedömning av anläggningens skick och som snabbt detekterar utsläpp. Mätmetoder som är lämpliga att använda för dessa ändamål är traditionella läcksökningsinstrument, läcksökningspray samt okulär- och luktkontroll. Rekommendationen är att varje biogas- och uppgraderingsanläggning skall äga minst ett läcksökningsinstrument samt ha tillgång till läcksökningspray.

Läcksokningsinstrument för detektion av metan kan baseras på olika mätmetoder. Vanliga metoder är halvledarsensorer eller katalytiska sensorer. Det är viktigt att skilja på läcksökningsinstrument och gasvarnare. Läcksokningsinstrument ska ange mätresultat som en halt på en display, alternativt med olika nivåer som indikeras med ljus-signaler. Vidare ska instrumentet kunna förses med mätsond (se Figur 4), för kontroll av svåråtkomliga utrymmen.

Halvledarsensorn består av en eller flera metalloxider och värms upp till en specifik temperatur, beroende på vilken gas som skall detekteras, genom ett värmeelement. När sensorn utsätts för gasen joniserar gasen av metalloxiden och elektroner kommer i rörelse och en konduktivitetsförändring uppstår. Ju mer gas som detekteras, desto större signal ger sensorn.

Läcksokningsinstrument med katalytisk sensor bygger på att en oxidation av gasen sker när gasen kommer i kontakt med instrumentets mätsensor, t.ex. en uppvärmd spiraltråd. Som ett mått på gasens koncentration uppkommer en förändring i strömmen genom mätsensorn.

Läcksokningspray eller vanligt såpvatten används främst för täthetskontroll av flänsförband och andra skarvar. Vid användning sprutas läcksökningspray t.ex. på ett flänsförband. Om flänsförbandet är otätt börjar det att bubbla i det sprayade lagret.

Okulär- och/eller luktkontroll innebär att utsläpp upptäcks genom personalens ögon och näsa. Vid utsläpp av varm gas finns en fuktig fläck på komponenten och vid utsläpp av kall gas sker en påfrysning på komponenten. Efter regn är det fördelaktigt att kontrollera platta ytor, t.ex. betongtak, liggande manluckor samt omrörarens axelfästning. Om otätheter förekommer syns detta genom bubblor i regnvattnet.

9.2 Noggrann läcksökning med instrument

Läcksokningsinstrumentets funktion skall kontrolleras innan läcksökningen påbörjas. Testa utrustningens funktion genom att släppa ut en liten mängd biogas och kontrollera att instrumentet detekterar detta. Om instrumentet skall servas och kalibreras med ett visst tidsintervall, kontrollera att detta skett enligt tillverkarens anvisningar.

Genomför en systematisk genomgång av anläggningen med läcksökningsinstrument och läckspray. Om metanutsläpp detekteras med läcksökningsinstrument skall det högsta noterade mätvärdet antecknas i ett protokoll.

För läcksökningsinstrumentet utmed eventuella utsläppspunkter. Detta skall göras både en liten bit ifrån och precis intill utrustningen. En pump drar vanligtvis in gas till detektorn i in-

strumentet. Beroende på ledningens längd, pumpens effekt och detektorns svarstid kan instrumentet föras med olika hastighet längs med den ev. utsläppspunkten. Om sökningen genomförs för snabbt går det inte att bestämma var ett utsläpp detekterats.

Vid genomfört arbete på anläggningen, ex då en fläns varit isärtagen, kan man tejpa runt utrustningen och endast lämna ett litet hål där eventuellt läckage samlas och lätt kan detekteras.

Då ett utsläpp upptäcks ska i största möjliga mån den exakta källan lokaliseras och om möjligt skall läckan åtgärdas direkt.

9.3 Mellanliggande kontroller med instrument

Om den noggranna läcksökningsmetoden som beskrivs ovan skulle tillämpas ofta på anläggningen är det risk att den till slut utförs slentrianmässigt och slarvigt. Om man istället utför mellanliggande kontroller (exempelvis varje vecka eller månad, i samband med ordinarie rondering) på ett enklare sätt, får man ett lättarbetat men ändå kraftfullt verktyg för att upptäcka gasläckor.

Vid de mellanliggande kontrollerna noterar man den uppmätta halten med läcksökningsinstrumentet på ett antal platser i lokaler med gasutrustning. Platserna bör vara väl definierade, även i höjddled, och de ska inte vara direkt invid potentiellt läckande delar (ett minsta avstånd av 1 meter rekommenderas). Metoden kräver ett noggrant läcksökningsinstrument enligt vad som anges i kapitel 4.1.3 för att betydande läckor ska kunna upptäckas på detta sätt. Utspädningseffekten blir ju betydande i en stor lokal.

Uppmätta halter på de olika platserna bör följas i olika diagram för att upptäcka trender. Om trenddiagrammen indikerar läckage eller om mätningen är noterbart högre än tidigare värden kan man initiera en noggrann läcksökning i utrustningen invid den aktuella platsen.

För att kunna detektera låga halter är det viktigt att instrumentet startas och nollkalibreras i kolvätefri utomhusluft.

10 Referenser

Europaparlamentets och rådets direktiv 2009/28/EG om främjande av användningen av energi från förnybara energikällor. Europeiska unionens officiella tidning 5.6.2009.

FprEN ISO 25139:2011, Stationary source emissions — Manual method for the determination of the methane concentration using gas chromatography. CEN.

Hansen, T., Sommer, S., & Christensen, T. (2006). *Methane Production during Storage of Anaerobically Digested Municipal Organic Waste*. J. Environ. Qual. 35:830-836.

Holmgren, M. (2009). *Frivilligt åtagande – inventering av utsläpp från biogas- och uppgraderingsanläggningar*. Avfall Sverige rapport U2007:02 Rev.

Metoder att mäta och reducera emissioner från system med rötning och uppgradering av biogas. RVF Utveckling 2005:07.

Persson, M. (2003). *Utvärdering av uppgraderingstekniker för biogas*. SGC Rapport 142.

SS-EN 15446:2008, Flyktiga och diffusa utsläpp av gemensamt intresse för industrisektorer - Mätning av diffusa utsläpp av ångor genererade av utrustning och rörläckage. SIS.

SS-EN ISO 25140:2010, Utsläpp och utomhusluft - Automatisk metod för bestämning av metankoncentrationen med flamjonisationsdetektor (FID). SIS.

SS-ISO 10780:1995, Utsläpp och utomhusluft – Mätningar av gasströmmars hastighet och volymflöde i rörledningar. SIS.



Scheelegatan 3, 212 28 Malmö • Tel 040-680 07 60 • Fax 040-680 07 69
www.sgc.se • info@sgc.se
