

**Opgørelse af mængden af biogas på biogasanlæg
og
afklaring af om biogasanlægget er en risikovirksomhed**

April 2024

I dette dokument vejledes om, hvordan man kan opgøre mængden af gas på et biogasanlæg med henblik på afklaring af, om anlægget er en risikovirksomhed. Der indledes med en kort introduktion til, hvordan et biogasanlæg er opbygget og hvordan det fungerer. Derefter beskrives hvordan gasmængden kan opgøres. Der afsluttes med et eksempel, der viser hvordan gasmængden beregnes i praksis, og hvordan det afgøres om anlægget er en risikovirksomhed.

0. Indholdsfortegnelse

1. Introduktion

2. Hvordan fungerer et biogasanlæg?

3. Hvordan opgøres gasmængden på et biogasanlæg?

3.1 Biogassammensætningen – forholdet mellem metan og kuldioxid

3.2 Hvilken densitet skal anvendes til beregning?

3.3 Hvilken driftssituation skal beregningen tage udgangspunkt i?

3.4 Særtilfælde hvor biomassen også er et risikostof

3.5 Hvilke anlægsdele skal indgå i beregningen den samlede gasmængde på anlægget?

3.6 Beregning af gasvolumen i tanke

4. Eksempel på opgørelse af mængden af biogas for et biogasanlæg

1. Introduktion

Opgørelsen af mængden af biogas på et biogasanlæg kan være en udfordring. Årsagen til dette er dels, at biogas findes flere steder på anlægget og det er den samlede mængde af biogas, der skal anvendes til afklaring af om det er en risikovirksomhed, og dels, at biogas er en blanding primært af metan og kuldioxid, og den præcise sammensætning kan variere fra et anlæg til et andet afhængig af bl.a. hvilken biomasse, der er anvendt. Endeligt skal gassens volumen omregnes til masse for afklaring af om anlægget er omfattet af risikobekendtgørelsen.

I dette dokument forklares, hvordan mængden af biogas kan opgøres til afklaring af, om anlægget er omfattet af risikobekendtgørelsen. Dokumentet indledes med en kort introduktion til, hvordan et biogasanlæg er opbygget. Dokumentet afsluttes med et eksempel på beregning af mængden af biogas med den anviste metode.

Biogas betragtes her som en blanding af metan og kuldioxid. Der ses bort fra andre stoffer, som forekommer i små mængder og som er uden betydning for, om biogasanlægget er en risikovirksomhed eller ej.

Biogassens indhold af svovlbrinte, H_2S , kan dog have en risikomæssig interesse og hvis der er svovlbrinte i biogassen i små mængder, skal det behandles i virksomhedens sikkerhedsdokumentation. Dette omtales ikke yderligere i dette dokument.

2. Hvordan fungerer et biogasanlæg?

Biogasanlæggets komponenter og flowet gennem anlægget.

I dette afsnit er der er kortfattet beskrivelse af, hvordan et biogasanlæg er opbygget og hvordan det fungerer. Beskrivelsen er ikke udtømmende, og der kan være andre måder at sammensætte et biogasanlæg på. Hvis du allerede ved hvordan et biogasanlæg virker, kan du springe dette afsnit over og fortsætte til afsnit 3.

Biomasser, f.eks. gylle, dybstrøelse, halm og affald fra slagterier, fiskeindustri m.m., kommer oftest til biogasanlægget med lastbil. Flydende biomasser opbevares i indleveringstanke. Faste biomasser opbevares i haller, eller udendørs i plansiloer. Indleveringstanke og lagre med fast biomasse kaldes ofte for forlager.

På næste side er afbilledet en principskitse af et biogasanlæg. Biogasanlæg kan være opbygget lidt forskelligt bl.a. afhængig af biomasse og hvad biogassen anvendes til efterfølgende. Det overordnede princip er dog det samme.

Gylle blandes i en blandetank (ikke afbilledet på skitsen herunder) med dybstrøelse, halm og industriaffald eller anden biomasse. Herefter pumpes den opblandede biomasse ind i en reaktor. Biomassens niveau i reaktoren er næsten konstant helt fuld, idet man ønsker så meget biomasse i reaktoren som muligt for størst biogas-produktion.

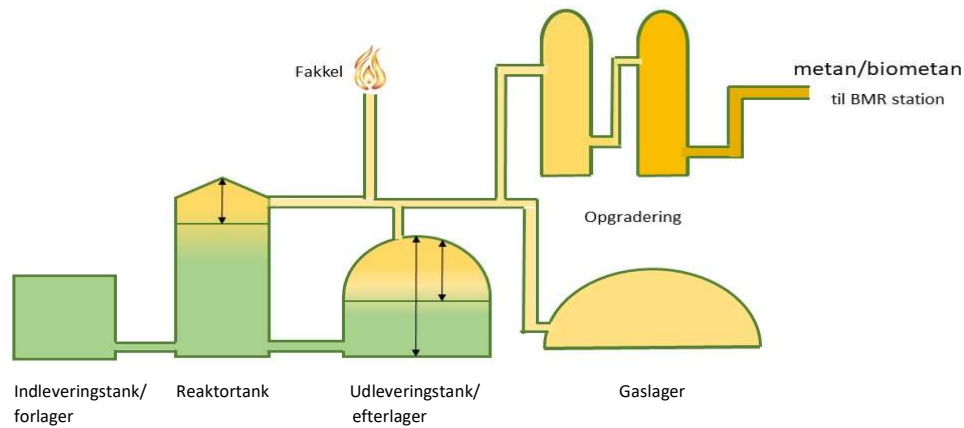
I reaktoren opvarmes biomassen til mellem 30 og 52 °C (kan være til højere temperatur i såkaldte termofile anlæg). Her starter biogasproduktionen. Den dannede biogas bobler op gennem biomassen og samles øverst i reaktoren og ledes ud af reaktoren via gasrørsystemet.

Biogas produceres hele tiden fra de biologiske processer og kan kun standses langsomt, typisk over flere uger. Hvis der f.eks. ikke opgraderes biogas på biogasanlægget på grund af fejl på opgraderingsanlægget, vil alle biogaslagre på biogasanlægget blive fyldt op.

Efter biomassens ophold i reaktoren, ledes biomassen til lagertanken. Denne kaldes ofte for efterlager. I lagertanken producerer biomassen stadig biogas. Oven på lagertanken er der monteret en gastæt overdækning, som fungerer som gaslager. Gasmængden kan variere i lagertanken afhængig af, hvor meget biomasse der er i lageret. Biomasseindholdet kan variere fra tom til helt fyldt, hvilket giver varierende indhold af biogas i lagertanken.

Nogle biogasanlæg har også et biogaslager, for at kunne udligne gasproduktionen med opgraderingsanlæggets drift. Disse lagre er udført som en gastæt "boble", som er fyldt med biogas. Hele volumenet af den fyldte gasboble skal medregnes.

Principskitse af et biogasanlæg:



Mange, men ikke alle, biogasanlæg har et opgraderingsanlæg, hvor biogas opgraderes til metan/biometan (kaldes nogen gange også for bionaturgas og har stort set samme egenskaber som naturgas). I opgraderingsanlægget renses biogassen for kuldioxid (CO_2) og nogle steder renses gassen også for svovlbrinte (H_2S). Hele volumen af opgraderingsanlægget medregnes i biogasmængden.

På biogasanlæg uden opgraderingsanlæg vil biogassen f.eks. blive afbrændt i en gasmotor, som producerer el og varme.

Al rørføring mellem de forskellige komponenter på biogasanlægget hvor der er eller kan være biogas medregnes i mængdeopgørelsen.

Som sikkerhedsforanstaltning for at sikre, at der ikke sker udslip af biogas til det fri via sikkerhedsventiler og for sikring af, at anlægget kan komme af med overskud af biogas på en forsvarlig måde, er biogasanlægget udstyret med en fakkellampe (kaldes nogen gange for "flare") så det er muligt at afbrænde den overskydende biogas.

3. Hvordan opgøres gasmængden på et biogasanlæg?

For at vurdere om et biogasanlæg er omfattet af Risikobekendtgørelsen, og dermed er underlagt kravet om sikkerhedsdokumentation og hvad der ellers følger af reglerne om risikovirkomheder, er det den maksimale mængde biogas der, til enhver tid, kan være til stede på anlægget, som skal fastlægges.

Biogas, der endnu ikke er opgraderet til at overholde specifikationerne for at kunne tilføres det sammenhængende gassystem til distribution, falder ind under risikobekendtgørelsens bilag 1, del 1, kategori P2, brandfarlige gasser. Her er tærskelmængden for kolonne 2 på 10 tons biogas og 50 tons biogas for kolonne 3. Opgraderet biogas falder under risikobekendtgørelsen bilag 1, del 2 nr. 18 jf. note 19 (hvis den opgraderede gas har en sammensætning og opfylder de fastsatte specifikationer for at kunne sendes ud i gassystemet til distribution af gas). For opgraderet biogas er tærskelmængden for kolonne 2 på 50 tons og 200 tons for kolonne 3.

Biogasanlæg adskiller sig fra de øvrige risikovirksomheder på den måde, at hele tankvolumenet ikke kan anvendes til opgørelse af mængden af gas, idet flere af tankene også indeholder en betydelig andel biomasse og væske, der i de fleste tilfælde ikke betragtes som risikostof. Det skal derfor beregnes hvor meget biogas (gasfase), der i den almindelige driftssituation kan være til stede i de forskellige tanke (og anlægsdele som f.eks. gasrørstrækninger). Spørgsmålet bliver således, hvilket tankvolumen, der skal ligge til grund for beregningen af den maksimale mængde biogas.

Der kan ses bort fra mængden af biogas i biomassen og i væskefasen da opløseligheden er lav og volumen af opløst gas er lille i forhold til gasmængden i gasfasen.

Biogas antages her at bestå af metan, CH₄, og kuldioxid, CO₂. Der kan ved opgørelsen af den samlede mængde biogas på biogasanlægget ses bort fra øvrige stoffer i gassen. Dette gælder kun ved opgørelse af den samlede gasmængde, men ikke i forhold til om f.eks. svovlbrinte, H₂S, i gassen kan udgøre en risiko for et større uheld.

Biogassens sammensætning afhænger bl.a. af, hvilken biomasse, der er anvendt, og de procesparametre, der har været under særligt processen i reaktoren.

Det er ikke uden betydning, om der er 50% eller 65% metan til stede i biogassen da densiteten og dermed massen af gassen varierer med sammensætningen. På biogasanlæg opgøres mængden oftest som volumen og i risikobekendtgørelsen er mængder anført som masse. Derfor opstår spørgsmålet om hvilken densitet, der skal ligge til grund for beregningen. Foruden gassens sammensætning har temperatur og tryk betydning for densiteten.

3.1 Biogassammensætningen – forholdet mellem metan og kuldioxid

Biogassen består således primært af metan og kuldioxid. Forholdet mellem metan og kuldioxid er interessant, da dette er afgørende for gasblandings massefylde/densitet. Dette forhold vil typisk være nogenlunde stabilt under drift, men kan dog svinge afhængigt af biomassesammensætningen.

Sammensætningen af den rå og uforarbejdede biogas vil ofte være dokumenteret ved måling inden gassen opgraderes i et opgraderingsanlæg. Her vil virksomheden således kunne dokumentere den til beregningen anvendte gassammensætning, ligesom myndighederne har mulighed for at kunne kontrollere og verificere værdierne. I stedet for at anvende gassammensætningen konstateret ved et øjebliksbillede fra en stikprøve, kan gennemsnitssammensætningen fra en repræsentativ driftsperiode anvendes.

Nye anlæg, der endnu ikke er idriftsat, må anvende den forventede gassammensætning ud fra biomassens sammensætning og planlagte procesparametre. Leverandøren eller rådgivere vil ofte kunne levere de relevante data. Den forventede gassammensætning bør verificeres, når anlægget er idriftsat. Dette gør sig i særdeleshed gældende for de anlæg, der ved beregningen forud for idriftsætning, blev vurderet til ikke at være en risikovirksomhed, og i særdeleshed hvis den beregnede biogasmængde er tæt på tærskelværdierne for, hvornår der er tale om en risikovirksomhed. Biogasvirksomheden kan anmodes om denne information og verifikation.

Vær opmærksom på, at væsentlige ændringer i biomassesammensætningen kan have indflydelse på gassammensætningen, hvilket kan have stor betydning for opgørelsen af gasmængden. Til eksempel kan udskiftning af en stor andel slagteriaffald med energiafgrøder øge biogasens indhold af kuldioxid, der er tungere end metan. Omvendt vil tilsætning af f.eks. affald fra fiskeindustri øge mængden af metan i forhold til kuldioxid.

3.2 Hvilken densitet skal anvendes til beregning?

Da densiteten af biogas bliver påvirket af både tryk og temperatur, og da disse værdier samt biogassens sammensætning kan være forskellige i de forskellige gastætte anlægselementer (det vil sige beholdere, rør og andre anlægsdele, der indeholder gas), er det nødvendigt at beregne densiteten for hver anlægsdel.

Formel til beregning af biogassens densitet (ρ)

$$\rho \text{ biogas} = (\text{andel Methan (0 – 100\%)} * \frac{M(\text{methan}) * P}{R * T}) + (\text{andel Kuldioxid (0 – 100\%)} * \frac{M(\text{kuldioxid}) * P}{R * T})$$

M = molvægt, g/mol

P = tryk, bar

R = gaskonstant, 0,083 l*bar/mol*K

T = temperatur, Kelvin (°C+273)

Alternativt, kan man konservativt vælge at benytte en densitet på 1,3 kg/m³, hvis sammensætningen af biogassen er ukendt eller varierer over tid, og det derfor ikke giver mening eller ikke giver et retvisende billede af forholdene at anvende en beregnet værdi baseret på sammensætning.

I tabellen herunder er vist, hvordan densiteten afhænger af sammensætningen af biogassen ved 40°C og atmosfæretryk, hvilket svarer til betingelserne i reaktoren eller umiddelbart efter denne.

CH ₄ /CO ₂ (i %)	30/70	40/60	50/50	60/40	70/30
Biogas densitet	1,389	1,280	1,171	1,062	0,896

Tabelltekst: Densiteten af biogas illustreret for forskellige gassammensætninger.

Ved densitetsberegning er der to variable - tryk og temperatur

De fleste anlæg opererer med et lille overtryk og ofte er de forskellige tanke forbundet med hinanden, idet gassen flyttes imellem tankene ved en lille trykforskel i tankene. Det er det konkrete driftstryk for de forskellige tanke, der skal anvendes i densitetsberegningen. Hvis ikke det aktuelle driftstryk er kendt, kan det tryk sikkerhedsventilerne er indstillet til åbne ved, anvendes til beregningen.

Gassens temperatur i de forskellige tanke kan dokumenteres, hvis der findes temperaturfølere i tankens gasfase. Hvis ikke der er temperaturfølere i gasfasen, men i tankens biomasse, kan denne temperatur i nogle tilfælde anvendes analogt på gassen. Det vil typisk forholde sig sådan, at gas i reaktortanke er varmere end i indleverings-/udleveringstanke og gaslagre.

Hvis gassens temperatur ikke kan dokumenteres på anden vis, anvendes 15°C til beregningen. Dette er et konservativt valg og tager også højde for naturlige variationer over døgnet og over året.

3.3 Hvilken driftssituation skal beregningen tage udgangspunkt i?

Beregningen skal tage udgangspunkt i den almindelige/normale driftssituation. Det er således nødvendigt at forholde sig til, hvorledes anlægget opereres, når der skal beregnes på maksimalt gasoplag.

Det betyder, at det er mængden af biomasse målt i volumen i den almindelige driftssituation, der skal ligge til grund for beregningen. Der kan således være driftssituationer, fx ved tanktømning og tankfyldning, hvor der er mere gas til stede på anlægget end ved den almindelige driftssituation.

Hvis biomasseniveauet sænkes som en del af den normale drift af anlægget, må det betragtes som den almindelige driftssituation. Hermed bliver det det sænkede biomasseniveau, der i så fald skal være udgangspunktet for beregningen, da det er det maksimale gasvolumen i tankene under normal drift, der skal indgå i beregningen af volumenet¹.

3.4 Særligt tilfælde hvor biomassen også er et risikostof

Det vil høre til sjældenhederne, men det er vigtigt at være opmærksom på, at tilførsel af en brandfarlig biomasse kan medføre at hele tankens biomasse opnår så lavt et flammepunkt, at også denne skal betragtes som et risikostof. Det kan fx være tilfældet, hvis man tilføjer metanol som supplerende kulstofkilde/substrat til biomassen. Dette kræver en nærmere vurdering af biomassens brandegenskaber og flammepunkt.

Såfremt biomassen kan kategoriseres som et risikostof efter risikobekendtgørelsen, skal mængden af biomasse indgå i sumformel-beregningen for virksamheden.

3.5 Hvilke anlægsdele skal indgå i beregningen den samlede gasmængde på anlægget?

Alle gastætte anlægsdele hvor der forekommer hulrum (det vil sige hvor gassen er lukket inde – f.eks. i beholdere eller rør) med biogas uden for væske- eller faststoffasen, skal inddrages i beregningen af maksimal gasmængde. Hvis der forekommer gasudvikling i ikke-gastætte anlægsdele, skal disse også medtages i beregningen af maksimal gasmængde.

Da procesbetingelserne (tryk og temperatur) kan være forskellige fra anlægsdel til anlægsdel, beregnes maksimal gasmængde per anlægsdel og summeres efterfølgende.

Nogle gasbærende anlægsdele indeholder også biomasse, nogle i et nogenlunde konstant niveau, mens andre har et mere svingende indhold af biomasse og derfor også biogas. I beregningerne skal indgå det største gasvolumen i anlægsdele, der forekommer under normal drift.

Beholdere, f.eks. efterlagre til afgasset biomasse og ikke-gastætte oplag af fuldt afgasset biomasse, der ikke er opvarmet og ikke er forbundet med de biogasbærende anlægsdele, kan udelades af opgørelsen af gasmængden, hvis det er godtgjort f.eks. ved måling, at der ikke forekommer gasudvikling (primært af metan).

Man skal være opmærksom på, at det i nogle tilfælde kan tage forholdsvis lang tid før biomassen er fuldt omsat, så der ikke længere dannes biogas. Det er en konkret vurdering om biomassen er fuldt afgasset i hvert enkelt tilfælde.

¹ Jf. Risikobekendtgørelsens bilag 1, note 3: "De mængder, der skal lægges til grund ved anvendelsen af § 4, nr. 2 og 3, er de maksimale mængder, som er eller kan være til stede på et hvilket som helst tidspunkt."

3.6 Beregning af gasvolumen i tanke

For at kunne beregne den maksimale gasmængde, er det nødvendigt at bestemme volumen (i kubikmeter - m^3) af den del af anlægget, der indeholder gas. Her er det igen nødvendigt at betragte de forskellige anlægsdele hver for sig. Her er både tankens form og fyldning med biomasse er interessant.

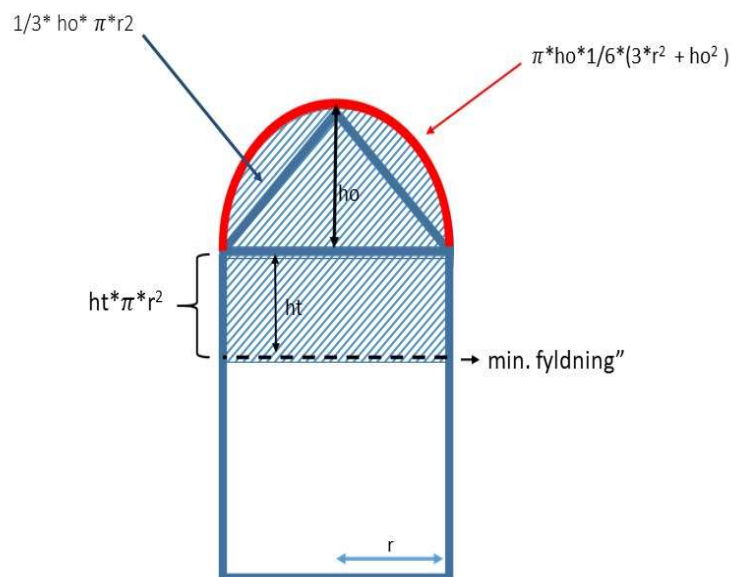
Gasvolumenet beregnes som tankens volumen fratrukket volumenet af biomasse og/eller væske. Dette er nærmere forklaret herunder.

Tankens geometri

Formlen til volumenberegning afhænger af tankens form. Herunder er angivet formler for cylinderformet beholder med enten kegleformet overdækning eller kuppelformet overdækning. Det vil typisk kun være en del af selve tanken, der er fyldt med gas (læs mere herom i de efterfølgende afsnit). Volumenet beregnes ved at summere tankens gasbærende del (cylinder/rektangel beregning) og overdækningen.

Alternativt kan oplysninger om volumen muligvis fås fra leverandøren, eller fremgå af dokumentationen for anlægget modtaget fra leverandøren.

Hvis den pågældende tank har en anden top/overdækning end de to på figuren illustrerede, anvend da en formel der passer til tankens faktiske geometri, eller alternativt find oplysningen i leverandørens datablad. Hvis tankens volumen (inkl. overdækning) er kendt, kan volumenet for den gasbærende del af tanken beregnes ved at fratække den del af tanken, der indeholder biomasse. Læs i de efterfølgende afsnit, hvordan den biomassefyldningsgrad, der skal anvendes til beregningen, fastlægges.



Volumen af tank

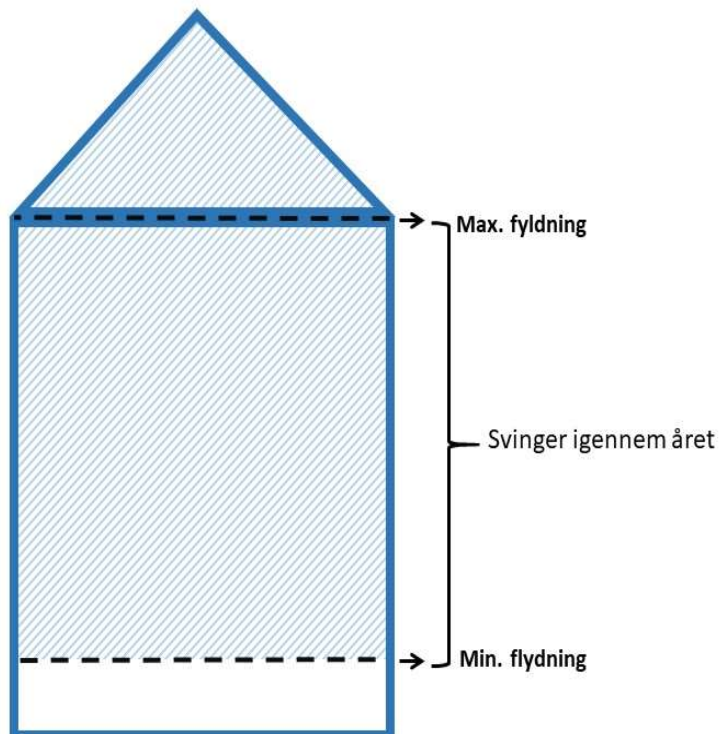
Tank med kegleformet overdækning (blå top) = $(ht * \pi * r^2) + (1/3 * ho * \pi * r^2)$

Tank med kuppelformet overdækning (rød top) = $(ht * \pi * r^2) + (\pi * ho * 1/6 * (3 * r^2 + ho^2))$

Indleverings- og udleveringstanke (for- og efterlagre)

Hvis der på anlægget er gastætte indleverings- eller udleveringstanke, hvor biomasse fyldningsgraden svinger i løbet af året, skal beregningen for disse tanke tage udgangspunkt i den lavest mulige biomasse fyldningsgrad, hvor normal drift kan opretholdes og bibeholdes (jf. den ovenfor anførte fodnote om Risikobekendtgørelsens bilag 1, note 3). Derved regnes med det største gasvolumen. Oplysning herom vil ofte kunne findes i dokumentationen for anlægget, driftsmanual eller lignende. Statistik og udtræk af driftsdata for fyldnings-grad af tankene kan anvendes til verifikation af de valgte værdier.

Den del af tankens volumen, der *ikke* skal inddrages i beregningen, vil således være den del af tanken, der altid vil være fyldt med biomasse. Den del af tankens volumen, der *er relevant for* beregningen, er på figuren herunder illustreret ved blå skravering. På figuren er en tank med kegleformet overdækning illustreret. Overdækningen på denne type tanke kan naturligvis også være kuppelformet eller andet. Valg af formel skal stemme overens med tankens geometri.

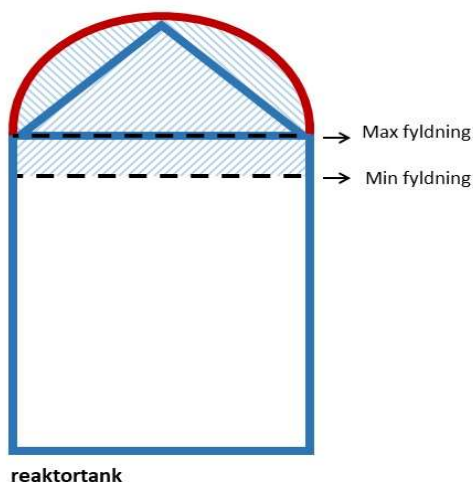


Indleverings / udleveringstank

Forlager / efterlager

Reaktortanke

Reaktortanke vil typisk have en forholdsvis stabil fyldningsgrad sammenlignet med indleverings- og udleveringstanke. Her er det ligeledes den laveste fyldningsgrad, der forekommer under den normale driftssituation, som skal ligge til grund for beregningen. Derved fås det højeste gasvolumen. På figuren herunder er det illustreret ved angivelse af minimum henholdsvis maksimum fyldning, som varierer over tid.



Hvis biomasse fyldningsgraden på grund af procesbetingelser jævnligt sænkes til et niveau, der er lavere end den normale driftssituation, skal denne laveste fyldning med biomasse anvendes ved beregningen.

Ligesom ved udleverings- og indleveringstanke, kan anlæggets statistik dokumentere fyldningen med biomasse under normal driftssituation.

For nye anlæg, hvor man ikke kan gå tilbage og se statistik over biomasse fyldningsgraden, må denne som udgangspunkt fastlægges konservativt. Beregningen kan så verificeres, når der foreligger driftsstatistik for fyldningsgraden under drift.

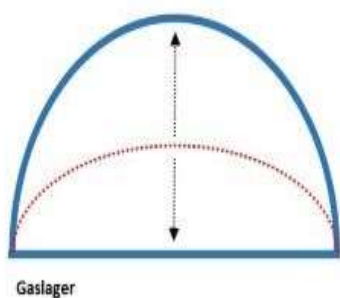
Gaslagre

Gaslagre adskiller sig fra de andre tanke ved ikke at indeholde biomasse.

Den hyppigst forekommende udformning af beholdere, der anvendes til gaslager, består af et cirkulært fundament og en overdel bestående af 2 plastmembraner – en indre membran, der holdes oppe af gassen og evt. skelet, og en ydre membran, der afgrænser beholderen. Hulrummet mellem de to membraner er fyldt med luft. Formålet med den yderste membran er at beskytte den inderste membran. Normalt vil den ydre membran holdes fuldt udspændt uanset mængden af gas i gaslaget. Man kan således ikke se på beholderen hvor meget gas, der er i denne.

Mængden af gas i gaslagerbeholderen vil variere fra helt tom til helt fyldt. Gaslagerets volumen i m³ vil typisk være kendt og kan dokumenteres via dokumenter og manualer fra leverandøren.

Lagerbeholderen kan være indrettet med en anordning, der sikrer, at lagret ikke kan fyldes mere end f.eks. op til 95%. Hvis denne fyldningsbegrænsning er udført som en passiv barriere, anvendes 95% af det maksimale volumen i beregning af gasmængden på anlægget. Hvis fyldningsbegrænsningen er udført som en aktiv barriere, skal det fulde volumen af gaslagret anvendes i beregning af gasmængden i anlægget.



Det er den maksimalt mulige fyldning med gas, der skal anvendes i beregning af gasmængden uanset, at det med driftsdata kan dokumenteres, at gaslagret sjældent eller aldrig er helt fyldt.

Rørstrækninger

Hvis anlægsdelene ligger tæt på hinanden, dvs. der ikke findes gasrørstrækninger der er længere end 100 m, kan gasmængden i rørstrækningerne som udgangspunkt fastsættes til 50 kg.

Hvis anlægsdelene ligger langt fra hinanden, dvs. der er mere end en gasrørstrækning på mere end 100 m, da kan gasmængden i gasrørstrækningerne fastlægges til 2% af mængden opgjort på de øvrige anlægsdele.

Det er naturligvis også tilladt at lave en konkret beregning. I så fald anvendes det faktiske rørvolumen for anlægget og med valg af temperatur og tryk som anført ovenfor.

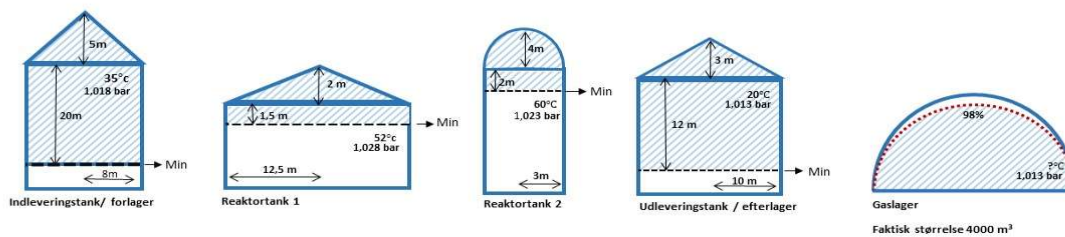
Rørstrækning med opgraderet biogas – det vil sige, at det er ren metan, der er i rørene – skal indgå i beregningen. Her skal man være opmærksom på, at det er en anden tærskelmængde, der skal anvendes ved afklaring om biogasanlægget er en risikovirksomhed. Rå biogas er omfattet af risikobekendtgørelsens bilag 1, del 1, gruppe P2 (brændbare gasser). Opgraderet biogas er omfattet af bilag 1, del 2, nr. 18, jf. note 19.

4. EKSEMPEL på opgørelse af mængden af biogas for et biogasanlæg

Her gennemgås et eksempel på opgørelsen af mængden af biogas for et fiktivt biogasanlæg bestående af 1 indleveringstank/forlager, 2 reaktortanke, 1 udleveringstank/efterlager, 1 gaslager og tilhørende rørføringer. Se figuren herunder. Tryk og temperatur i de enkelte anlægsdele fremgår af beregningerne. Det skal bemærkes, at der i biogasbranchen anvendes forskellige benævnelser for samme type af anlægsdel.

Betegnelserne på figuren nedenfor er således også kun eksempler på sådanne benævnelser. Det er anlægsdelenes funktion og ikke deres benævnelser, der er afgørende for, hvordan volumen og mængde skal beregnes, og dermed også for fastlæggelsen af den samlede gasmængde i et biogasanlæg.

Den gennemsnitlige koncentration af metan og kuldioxid i biogassen bestemt til 55 % metan og 45 % kuldioxid. Øvrige parametre er vist på nedenstående figurer. De anvendte formler til beregning fremgår af teksten nedenfor med tilhørende forklaring.



Relevante formler

$$\rho_{\text{biogas}} = (\text{andel Methan}(0 - 100\%) * \frac{M(\text{methan}) * P}{R * T}) + (\text{andel Kuldioxid}(0 - 100\%) * \frac{M(\text{kuldioxid}) * P}{R * T})$$

Volumen af tank med kegleformet overdækning = $(ht * \pi * r^2) + (1/3 * ho * \pi * r^2)$

Volumen af tank med kuppelformet overdækning = $(ht * \pi * r^2) + (\pi * ho * 1/6 * (3 * r^2 + ho^2))$

Det er ved beregningerne væsentligt, at forholde sig til præcisionen ved målingen af/de opgivne mål for tankenes dimensioner. Beregningen af gasvolumen bør endvidere ske ud fra de almindeligt anerkendte principper og praksis for nøjagtighed og afrunding, hvilket betyder, at såvel beholdervolumen (i m³) som vægt af gas (i tons) oftest bør anføres med højst 1 decimal.

Indleveringstank/forlager

Tanken har en kegleformet overdækning hvorfor følgende formel anvendes til at bestemme volumen af den gasbærende del af tanken: $(ht * \pi * r^2) + (1/3 * ho * \pi * r^2)$ – ht, ho og r er angivet i meter (m).

Tankvolumen = $(20 * \pi * 8^2) + (1/3 * 5 * \pi * 8^2)$ 4356,3409 – afrundes til 4356,3 m³

$$\rho \text{ indleveringstank} = \left(0,55 * \frac{16,042 \frac{\text{g}}{\text{mol}} * 1,018 \text{ bar}}{0,0831 \text{ l} * \frac{\text{bar}}{\text{mol}} * \text{K} * (35^{\circ}\text{C} + 273)} \right) + \left(0,45 * \frac{44,010 \frac{\text{g}}{\text{mol}} * 1,018 \text{ bar}}{0,0831 \text{ l} * \frac{\text{bar}}{\text{mol}} * \text{K} * (35^{\circ}\text{C} + 273)} \right) = 1,139 \text{ kg/m}^3$$

Tankvolumen * densitet = 4356,3 m³ * 1,139 kg/m³ = 4961,8722 kg – afrundes til 4961,9 kg

Indleveringstanken kan således indeholde op til 4691,9 kg biogas under opretholdelsen og bibeholdelsen af den almindelige driftssituation.

Reaktortank 1

Tanken har en kegleformet overdækning hvorfor følgende formel anvendes til at bestemme volumenet af den gasbærende del af tanken: (ht * π * r²) + (1/3 * ho * π * r²) – ht, ho og r er angivet i meter (m).

Volumen af tank med spids overdækning: (1,5 * π * 12,5²) + (1/3 * 2 * π * 12,5²) = 1063,6 m³

$$\rho \text{ reaktortank} = \left(0,55 * \frac{16,042 \frac{\text{g}}{\text{mol}} * 1,028 \text{ bar}}{0,0831 \text{ l} * \frac{\text{bar}}{\text{mol}} * \text{K} * (52^{\circ}\text{C} + 273)} \right) + \left(0,45 * \frac{44,010 \frac{\text{g}}{\text{mol}} * 1,028 \text{ bar}}{0,0831 \text{ l} * \frac{\text{bar}}{\text{mol}} * \text{K} * (52^{\circ}\text{C} + 273)} \right) = 1,090 \text{ kg/m}^3$$

Tankvolumen * densitet = 1063,6 m³ * 1,090 kg/m³ = 1159,324 kg – afrundes til 1159,3 kg.

Reaktorstank 1 kan således indeholde op til 1159,3 kg biogas under opretholdelsen og bibeholdelsen af den almindelige driftssituation.

Reaktortank 2

Denne tank er med kuppelformet overdækning hvorfor følgende formel skal anvendes til at bestemme den gasbærende tankvolumen: (ht * π * r²) + (π * ho * 1/6 * (3 * r² + ho²)) – ht, ho og r er angivet i meter (m).

Tankvolumen = (2 * π * 3²) + (π * 4 * 1/6 * (3 * 3² + 4²)) = 146,6 m³

$$\rho \text{ reaktortank 2} = \left(0,55 * \frac{16,042 \frac{\text{g}}{\text{mol}} * 1,023 \text{ bar}}{0,0831 \text{ l} * \frac{\text{bar}}{\text{mol}} * \text{K} * (60^{\circ}\text{C} + 27)} \right) + \left(0,45 * \frac{44,010 \frac{\text{g}}{\text{mol}} * 1,023 \text{ bar}}{0,0831 \text{ l} * \frac{\text{bar}}{\text{mol}} * \text{K} * (60^{\circ}\text{C} + 273)} \right) = 1,058 \text{ kg/m}^3$$

Tankvolumen * densitet = 146,6 m³ * 1,058 kg/m³ = 155,1028 kg – afrundes til 155,1 kg.

Reaktortank 2 kan således indeholde op til 0,2 tons biogas under opretholdelsen og bibeholdelsen af den almindelige driftssituation.

Udleveringstank/efterlager

Tanken har en kegleformet overdækning hvorfor følgende formel anvendes til at bestemme volumenet af den gasbærende del af tanken: (ht * π * r²) + (1/3 * ho * π * r²) – ht, ho og r er angivet i meter (m).

Volumen af tank med kegleformet overdækning: (12 * π * 10²) + (1/3 * 3 * π * 10²) = 4084,1 m³

$$\rho \text{ udleveringstank} = \left(0,55 * \frac{16,042 \frac{\text{g}}{\text{mol}} * 1,013 \text{ bar}}{0,0831 \text{ l} * \frac{\text{bar}}{\text{mol}} * \text{K} * (20^{\circ}\text{C} + 273)} \right) + \left(0,45 * \frac{44,010 \frac{\text{g}}{\text{mol}} * 1,013 \text{ bar}}{0,0831 \text{ l} * \frac{\text{bar}}{\text{mol}} * \text{K} * (20^{\circ}\text{C} + 27)} \right) = 1,191 \text{ kg/m}^3$$

Tankvolumen * densitet = $4084,1 \text{ m}^3 * 1,193 \text{ kg/m}^3 = 4872,3313 \text{ kg}$ – afrundes til 4872,3 kg.

Udleveringstanken kan således indeholde op til 4872,3 kg biogas under opretholdelsen og bibeholdelsen af den almindelige driftssituation.

Gaslager

Gaslagret har en kapacitet på 4000 m^3 biogas, når den er fyldt 100%. Der er ikke nogen passive barrierer, som forhindrer op til 100 % fyldning, hvorfor der ved opgørelsen af biogasmængden bør regnes med hele volumenet.

Temperaturen er ukendt hvorfor $15 \text{ }^\circ\text{C}$ anvendes som beskrevet tidligere.

$$\rho \text{ udleveringstank} = \left(0,55 * \frac{16,042 \frac{\text{g}}{\text{mol}} * 1,013 \text{ bar}}{0,0831 \text{ l} * \frac{\text{bar}}{\text{mol}} * \text{K} * (10^\circ\text{C} + 27)} \right) + \left(0,45 * \frac{44,010 \frac{\text{g}}{\text{mol}} * 1,013 \text{ bar}}{0,0831 \text{ l} * \frac{\text{bar}}{\text{mol}} * \text{K} * (10^\circ\text{C} + 27)} \right) = 1,233 \text{ kg/m}^3$$

Volumen 4000 m^3 .

Lagervolumen * densitet = $4000 \text{ m}^3 * 1,233 \text{ kg/m}^3 = 4932,0 \text{ kg}$ – som ikke afrundes.

Gaslagret kan således indeholde op til 4932 kg under opretholdelsen og bibeholdelsen af den almindelige driftssituation.

Rørstrækninger

Anlægsdelene ligger tæt på hinanden (kun gasrørstrækninger på under 100 m). Derfor fastsættes det, at der er 50 kg biogas i anlæggets gasrørstrækninger.

Det samlede anlæg

Når den maksimale gasmængde er beregnet for alle de gasbærende anlægsdele, er det blot at summere disse.

$4961,9 \text{ kg}$ (forlager/indleveringstank) + $1159,3 \text{ kg}$ (reaktortank 1) + $155,1 \text{ kg}$ (reaktortank 2) + $4872,3 \text{ kg}$ (efterlager/udleveringstank) + $4932,0 \text{ kg}$ (gaslager) + 50 kg (gasrør) = $16130,6 \text{ kg}$, som afrundes til 16,1 tons.

Det maksimale samlede gasoplæg på anlægget vil således være 16,1 tons, hvilket betyder, at anlægget er en kolonne 2 virksomhed. Tærskelmængden for kolonne 2 er 10 tons, og for kolonne 3 er den 50 tons (Risikobekendtgørelsen, Bilag 1, del 1, kategori P2).