



Skyddsavstånd inom biogasanläggningar

(Safety distances within production units for biogas)

Jakob Karlsson, Frank Graveus

*"Catalyzing energygas development
for sustainable solutions"*

Svenskt Gastekniskt Center AB, SGC

Om SGC

SGC är ett spjutspetsföretag inom hållbar utveckling med ett nationellt uppdrag. Vi arbetar under devisen "*Catalyzing energygas development for sustainable solutions*". Vi samordnar branschgemensam utveckling kring framställning, distribution och användning av energigas och sprider kunskap om energigas. Fokus ligger på förnybara gaser från rötning och förgasning. Tillsammans med företag och med Energimyndigheten och dess kollektivforskningsprogram *Energigastekniskt utvecklingsprogram* utvecklar vi nya möjligheter för energigaserna att bidra till ett hållbart samhälle. Tillsammans med våra programråd inom *Rötning, Förgasning och bränslesyntes, Distribution och lagring, Kraft/Värme och Gasformiga drivmedel* identifierar vi frågeställningar av branschgemensamt intresse att genomföra forsknings-, utvecklings och/eller demonstrationsprojekt kring. Beslut om eventuell statlig medfinansiering från Energimyndigheten fattas av den externa Beslutsnämnden inom ramen för kollektivforskningsprogrammet som f.n. löper under tiden 090401–130331.

Resultaten från projekt drivna av SGC publiceras i en särskild rapportserie – *SGC Rapport*. Rapporterna kan laddas ned från hemsidan – www.sgc.se. Det är också möjligt att prenumerera på de tryckta rapporterna. SGC svarar för utgivningen av rapporterna medan rapportförfattarna svarar för rapporternas innehåll.

SGC ger också ut faktabroschyrer kring olika aspekter av energigasers framställning, distribution och användning. Broschyrer kan köpas via SGC:s kansli.

SGC har sedan starten 1990 sitt säte i Malmö. Vi ägs av Eon Gas Sverige AB, Energigas Sverige, Swedegas AB, Göteborg Energi AB, Lunds Energikoncernen AB (publ) och Öresundskraft AB.

Finansiering av det här projektet

Det här projektet har finansierats av Avfall Sverige AB, E.ON Gas Sverige AB, Göteborg Energi AB, Kristianstad Biogas AB, Nordvästra Skånes Renhållnings AB (NSR), Lantbrukarnas Riksförbund (LRF), Energigas Sverige och SGC via Energimyndigheten.

Malmö 2012



Martin Ragnar
Verkställande direktör

Swedish Gas Technology Centre, SGC

About SGC

SGC is a leading-edge company within the field of sustainable development having a national Swedish assignment. We work under the vision of "*Catalyzing energygas development for sustainable solutions*". We co-ordinate technical development including manufacture, distribution and utilization of energy gases and spread knowledge on energy gases. Focus is on renewable gases from anaerobic digestion and gasification. Together with private companies and the Swedish Energy Agency and its frame program *Development program for energy gas technology* we develop new solutions where the energygases could provide benefits for a sustainable society. Together with our program committees within *Anaerobic digestion, Gasification and fuel synthesis, Distribution and storage, Power/Heat and Gaseous fuels* we identify issues of joint interest for the industry to build common research, development and/or demonstrations projects around. Decisions on any financial support from the Swedish Energy Agency are made by the external Beslutsnämnden within the frame program that currently runs 090401–130331.

Results from the SGC projects are published in a report series – *SGC Rapport*. The reports could be downloaded from our website – www.sgc.se. It is also possible to subscribe to the printed reports. SGC is responsible for the publishing of the reports, whereas the authors of the report are responsible for the content of the reports.

SGC also publishes fact brochures and the results from our research projects in the report series *SGC Rapport*. Brochures could be purchase from the webiste.

SGC is since the start in 1990 located to Malmö. We are owned by Eon Gas Sverige AB, Energigas Sverige, Swedegas AB, Göteborg Energi AB, Lunds Energikoncernen AB (publ) and Öresundskraft AB.

Financing of this project

This project has been financed by Avfall Sverige AB, E.ON Gas Sverige AB, Göteborg Energi AB, Kristianstad Biogas AB, Nordvästra Skånes Renhållnings AB (NSR), Lantbrukarnas Riksförbund (LRF), Energigas Sverige and SGC through the Swedish Energy Agency.

Malmö, Sweden 2012



Martin Ragnar
Chief Executive Officer



Förord

Detta projekt har genomförts av Jakob Karlsson, Grontmij AB, och Frank Graveus, Söderberg & Partners, på uppdrag av Svenskt Gastekniskt Center AB (SGC). Projektet påbörjades i januari 2012 och avslutades, i och med leveransen av denna rapport, i november samma år.

Till projektet har en referensgrupp funnits knuten. Projektarbetet har drivits av Grontmij AB med stöd av referensgruppen, och gemensamma möten har hållits regelbundet under projektet. Referensgruppen har bestått av följande personer.

- Tobias Persson, SGC
- Håkan Eriksson, E.ON Gas Sverige AB
- Lars Brolin, Scandinavian Biogas Fuels AB
- Thomas Reinhold, E.ON Gas Sverige AB
- Lars-Gunnar Johansson, LRF
- Jan Karlsson, Göteborg Energi
- Carl Lilliehöök, Kristianstad Biogas AB
- Daniel Aulik, Energigas Sverige
- Jonas Stenfelt, Swedish Biogas International AB
- Anton Enqvist, NSR

Under projektet har dialog även förts med representant för Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap (MSB).

Författarna äger tillstånd att använda de figurer och bilder som redovisas i rapporten.



Summary

This report contains the methodology and results of a study on required safety distances in biogas plants. The study has been carried out by Grontmij AB on behalf of the Swedish Gas Technology Centre (SGC). The study has been sponsored by SGC and a number of industry stakeholders. The study is a continuation of a previous analysis on safety distance around membrane gasholders, which was conducted for the revision of BGA 2012 "*Anvisningar för biogasanläggningar*" published by the Swedish Gas Association¹. For the purpose of the report a biogas plant has been considered to be a facility where biogas is produced by anaerobic digestion of organic matter, and the focus of this report is further limited to the gas production process.

The requirement for a safe distance around locations where biogas is stored or used is linked to the Swedish act on flammable and explosive goods (*SFS 2010:1011*). Based on the legislation, the Swedish Civil Contingencies Agency (MSB) is authorized to provide for regulation, in the field of flammable and explosive goods, in order to fulfil the requirements. The *SÄIFS 2000:4* specifies the requirement for a safe distance and gives advice on minimum safety distances around gas holders and tanks. However, these minimum safety distances are not always easily applicable on biogas plants. The intention of *SÄIFS 2000:4* is to be universally applicable on all types of industries where flammable goods are being stored and used, and thus it cannot consider conditions that are specific for biogas plants. Considering the above, a growing need for clarification of the requirements and specification of minimum safety distances in biogas plants has been identified.

The objective of this study has been to develop recommendations on safety distances between biogas-carrying containers and surrounding objects within biogas plants. In particular, it has been of importance that the results reflect conditions typical for biogas plants (i.e. gas volume, pressure, system and component designs, safety measures, construction materials etc.) and analysis is performed with realistic hazardous scenarios. Another focus of the study has been to highlight the occurring different interpretations and applications within the industry, of the currently accepted minimum safety distances (in *SÄIFS 2000:4* and BGA). The need for an industry-wide guidance is considered to be significant.

The study has been carried out in accordance with the following phases:

- I. Pre-study of relevant material including regulations, standards, incident and accident reports, biogas plant documentation, risk analysis etc.
- II. Site visits to biogas plants of different designs.
- III. Analysis with scenario-based consequence calculations to assess the required safety distances.
- IV. Summary of findings and recommendations for safety distances within biogas plants.

The currently accepted minimum safety distances distinguish wet gasholders from dry gasholders, meaning that the safety distance for a gasholder depends on whether it is wet or dry. From a risk perspective, it is considered to be more relevant to make such a distinction based on the characteristics of the construction material that separates the gas from the surroundings. The characteristic properties of the material separating the biogas from its surrounding is considered to be more critical to the risk profile, than

¹ The guideline *Anvisningar för biogas 2012* (BGA) can be ordered from the Swedish gas association, www.energigas.se



whether the gasholder is wet or dry. The same reasoning is also applicable for digesters, mixing tanks, residue storages and such. These are all constructions which may contain large volumes of biogas. The differences between the various types of containers, in terms of pressure, gas composition, physical properties and potential ignition sources, are generally small. The common denominators are considered to be greater than the differences, and it is therefore questioned whether the safety distance should be dependent on whether the container is a digester or a gasholder. In accordance with the above, this study aims to relate the minimum safety distance to the characteristics of the construction material that separates the biogas from its surroundings, rather than to the container type.

Gas containers in biogas plants are typically designed with a gas-tight barrier of either steel, concrete or a flexible PVC membrane. Another protective and/or insulating layer is commonly applied on the outside of the gas-tight barrier. This outermost layer is typically made of insulated or non-insulated sheet metal, but there are also concrete and stone constructions. The following coarse categorization of construction materials has been done for the purpose of this study:

- a) PVC membrane
- b) Steel wall
- c) Concrete wall

Scenario based consequence calculations have been carried out to determine adequate safety distances between biogas containers, of different construction material, and buildings within the plant. The consequence calculations mainly focus on the risk of fire spread between buildings and biogas containers, and the dispersion of biogas leakages to the air. The scenarios have been chosen to reflect “worst likely scenarios” rather than “worst possible scenarios”. The resulting recommendations should reflect a certain element of cost versus benefit, which means that the “worst likely scenarios” bear more relevance than the “worst possible scenarios”.

The table below shows the results of this study in terms of recommended minimum safety distances within biogas plants. It should be noted that the categorization of biogas containers refers to the construction material that constitutes the main separation of the biogas from its surroundings, and protects the gas from external adverse impacts (mechanical, thermal or other effects).

Table: Recommended minimum safety distances within biogas productions plants

Gas container ¹ (e.g. gasholder, digester, mixing tank, residue storage)	Building (within the plant) ²			Other gas containers		
	Combustible facade ³	Non-combustible facade ³	EI 60-separation ⁵	Membrane (PVC)	Steel	Concrete
Membrane (PVC)	18 m	18 m	9 m	14 m	11 m	4 m
Steel	9 m	7 m	4 m	11 m	4 m	4 m
Concrete	6 m	6 m	3 m	4 m	4 m	2 m

¹ Gas containers that are part of the biogas production process

² Building within the plant, where occupants are aware of the risks associated with biogas production

³ Facade shall conform to the applicable building class of the Swedish building code (Boverkets Byggregler)

⁴ Material of class A2-s1,d0 (incl. doors). Unprotected windows, ventilation openings or other openings are not accepted in the façade facing the hazard.

⁵ Building with fire rated facade, class EI 60 (this applies to the facade(s) facing the hazard), and non-combustible roof covering class A2-s1,d0 or roof covering of class B_{ROOF} (t2) on an underlying layer of non-combustible material.



The results are only applicable if:

- The facility is built, controlled and operated in accordance with the current version of *Biogasanvisningarna*, BGA (except for safety distances that are contrary to the results of this report). It shall be verified that deviations from the current version of the BGA does not affect the conclusions of this report, before the results are applied on a plant designed in accordance with a previous version of the BGA.
- Buildings within the plant comply with the Swedish building code (Boverkets Byggregler)
- Buildings within the plant are strictly related to the production of biogas
- The building fire load does not exceed 800 MJ/m² floor area

Assessment of risk and acceptable risk is inevitably subject to uncertainties and subjective elements. Uncertainties in the analysis arise in relation to the choice of scenarios, modeling, simplifications, assumptions and calculation inputs. The recommended minimum safety distances, in the table above, has been developed with the intent to be applicable for different types of biogas plants and designs. As such, it has been necessary to make coarse and conservative assumptions in the analysis. It should be noted that within a specific plant there may be circumstances which mean that shorter or longer safety distances are applicable. In accordance with *SÄIFS 2000:4* the necessary safety distance can be (and preferably should be) determined through a risk assessment that takes the plant specific conditions into account.

The intention of this study is to provide a basis for further development of the guidelines on safety distances in BGA. The report has been reviewed by the members of the project steering group and representative of the Swedish Civil Contingencies Agency (MSB). Based on the contents of this report the Swedish Civil Contingencies Agency (MSB) agree that implementation of the suggested minimum distances, with specified conditions applied, ensures compliance with the legislative requirements in the Swedish act on flammable and explosive goods (*SFS 2010:1011*).



Sammanfattning på svenska

Denna rapport redovisar utförande och resultat av en utredning om minsta skyddsavstånd kring gasbärande anläggningsdelar inom biogasanläggningar. Utredningen har genomförts av Grontmij AB på uppdrag av Svenskt Gastekniskt Center AB (SGC), och har finansierats av SGC tillsammans med flertalet näringslivsintressenter inom biogasbranschen. Utredningen utgör en fortsättning på det analysarbete om minsta avstånd kring membrangasklockor som genomfördes inför 2012 års revidering av "*Anvisningar för biogasanläggningar*" (BGA) som ges ut av Energigas Sverige². Med biogasanläggningar avses i denna rapport anläggningar där gasproduktion sker genom rötning av organiskt material, och utredningens fokus har avgränsats till själva gasproduktionsprocessen.

Kravet på betryggande avstånd vid hantering av biogas är kopplat till *Lag (SFS 2010:1011) om brandfarliga och explosiva varor*. Utifrån lagstiftningen är Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap (MSB) bemyndigade att bereda föreskrifter på området. Föreskriften SÄIFS 2000:4 om *Cisterner, gasklockor, bergrum och rörledningar för brandfarlig gas* utvecklar kravet på betryggande placering och innehåller anvisningar för minsta avstånd kring bland annat cistern och gasklockor. Föreskriften syftar till att vara applicerbar för en allmängiltig hantering av brandfarlig gas och kan av naturliga skäl inte beakta förutsättningar och anläggningsdelar specifika för biogasanläggningar. Med denna bakgrund har det identifierats ett behov inom biogasbranschen att förtydliga hur kraven på betryggande avstånd kan uppfyllas inom biogasanläggningar, och utreda vilka rekommenderade minsta avstånd som är tillämpbara.

Syftet med utredningen har varit att ta fram rekommendationer för minsta avstånd mellan gasbärande anläggningsdelar och omgivande objekt inom biogasanläggningar där riskerna som är förknippade med hanteringen av den brandfarliga varan är kända. I synnerhet har det varit viktigt att resultatet är väl förankrat i förutsättningar som är typiska för biogasanläggningar (gasvolym, tryck, system-/komponentdesign, riskreducerande åtgärder, materialval etc.) och att återspegla realistiska olycksscenarier. Ett annat fokus för utredningen har varit att redogöra för förekommande tolkningsproblematik och variationer i tillämpning av befintliga minsta avstånd i SÄIFS 2000:4 och BGA. Behovet av en branschgemensam vägledning bedöms vara påtaglig.

Utredningen har genomförts enligt följande grova arbetsmetodik:

- I. Inledande studie av underlag såsom regelverk, normer, tillbuds- och olycksstatistik, dokumentation för biogasanläggningar, riskanalyser etc.
- II. Studiebesök till representativa biogasanläggningar (referensanläggningar)
- III. Analys med scenariobaserade konsekvensberäkningar för att bestämma erforderliga minsta avstånd
- IV. Resultatsammanställning och rekommendation för minsta avstånd inom biogasanläggningar

I befintliga anvisningar för minsta avstånd görs det huvudsakligen skillnad på våta från torra gasklockor. Istället för att göra skillnad på våta och torra gasklockor, så bedöms det ur ett riskperspektiv vara mer relevant att göra skillnad på gasklockor utifrån vilket material den gashållande och skyddande konstruktionen är tillverkad i.

² *Anvisningar för biogas 2012* (BGA) kan beställas från Energigas Sveriges hemsida (www.energigas.se)



Materialegenskaperna för den gashållande konstruktionen bedöms vara mer avgörande för riskbilden, än huruvida gasklockan är av våt eller torr typ. Resonemanget kan utvidgas för att även omfatta rötkammare, blandningstankar, rötrestlager och dylikt. Gasklockor, rötkammare, blandningstankar och rötrestlager är alla konstruktioner som kan innehålla stora volymer biogas. Skillnaderna mellan de olika anläggningsdelarna är generellt små beträffande tryck, gasens sammansättning, fysikaliska egenskaper och potentiella tändkällor. Ur ett riskperspektiv har de olika anläggningsdelarna många gemensamma nämnare och skillnader i minsta avstånd borde inte nödvändigtvis vara relaterat till huruvida det är en rötkammare eller en gasklocka. I beräkningsanalysen i denna utredning har grundtanken istället varit att relatera det rekommenderade minsta avståndet till utförandet av den omslutande konstruktionen kring biogasen.

Gasbärande anläggningsdelar inom biogasanläggningar är vanligen utförda med en gashållande vägg av antingen membranduk, stål eller betong. Utanför den gashållande väggen kan det även förekomma ett isolerande och skyddande skikt. Det skyddande yttersta skiktet är vanligen en isolerad eller oisolerad plåtvägg, men även betong- och stenkonstruktioner förekommer. För syftet med denna utredning har nedanstående grova indelning av konstruktionsförutsättningar gjorts.

- a) Membranduk
- b) Stålvägg
- c) Betongvägg

Utifrån denna indelning av anläggningsdelar efter konstruktionsförutsättningar har analys med scenariobaserade konsekvensberäkningar genomförts för att bestämma lämpliga minsta avstånd mellan anläggningsdelar och till byggnader inom anläggningen där risker förknippade med hanteringen av den brandfarliga varan är känd. De studerade scenarierna omfattar huvudsakligen brandspridningsrisk vid brand i byggnad, brandspridningsrisk vid brand i gasbärande anläggningsdel och gasspridning vid läckage från anläggningsdel. Vid val av scenarier och beräkningsförutsättningar har utgångspunkten varit att avstånden bör vara baserade på s.k. "värsta troliga scenarion" snarare än "värsta möjliga scenarion". Ett visst inslag av kostnad mot nytta bör vägas in i schablonmässiga krav eller rekommendationer av denna typ.

Baserat på resultatet av beräkningsanalysen lämnar utredningen nedanstående rekommendation för schablonmässiga minsta avstånd inom biogasanläggningar (se tabell). Observera att kategoriseringen av gasbehållare avser det material som medför det huvudsakliga skyddet av gasen mot påverkan från omgivningen (mekanisk, termisk eller annan påverkan).



Tabell: Rekommenderade minsta avstånd inom produktionsanläggning för betryggande placering

Gasbehållare ¹ (ex. rötkammare, gasklocka, blandningstank, rötrestlager)	Byggnad (inom produktionsanläggning) ²			Annan Gasbehållare		
	Brännbar fasad ³	Obrännbar fasad ⁴	EI 60-avskiljning ⁵	Membran	Stål	Betong
Membran	18 m	18 m	9 m	14 m	11 m	4 m
Stål	9 m	7 m	4 m	11 m	4 m	4 m
Betong	6 m	6 m	3 m	4 m	4 m	2 m

¹ Med gasbehållare avses kärl som lagrar/innehåller gas i produktionssteget

² Avser byggnad inom produktionsanläggningen, där personer kan förväntas känna till riskerna med hanteringen av den brandfarlig gas.

³ Fasad skall uppfylla krav i Boverkets Byggregler för respektive byggnadsklass

⁴ Material i lägst klass A2-s1,d0 (inkl. dörrar). Oskyddade fönster, ventilationsöppningar och andra öppningar tillåts ej i fasad mot riskkällan.

⁵ Byggnad med brandklassad fasad i klass EI60 (detta gäller fasad mot riskkällan), samt obrännbar taktäckning klass A2-s1,d0 eller taktäckning i lägst klass B_{ROOF} (t2) på obrännbart underlag.

Resultatet förutsätter att:

- Anläggningen byggs, kontrolleras och drivs enligt gällande utgåva av Biogasanvisningarna (BGA) från Energigas Sverige (undantaget anvisningar om minsta avstånd som strider mot resultatet i denna rapport). Vid utförande enligt tidigare utgåvor av Biogasanvisningarna ska det verifieras att skillnaderna inte påverkar slutsatserna i denna rapport.
- Byggnader inom anläggningen följer Boverkets byggregler BBR [11]
- Byggnader inom anläggningen har direkt anknytning till verksamheten (d.v.s. produktion av biogas)
- Brandbelastningen inom beaktade byggnader är lägre än 800 MJ/m² golvarea

Bedömning av risk och acceptabel risk innehåller onekligen till viss del subjektiva inslag och osäkerheter. I analysen uppkommer osäkerheter vilka kan relateras till val av scenarier, beräkningsmodeller, förenklingar, antaganden och indata. Ovanstående minsta avstånd har utarbetats med avsikten att vara tillämpbara och allmängiltiga för olika typer av anläggningar och utföranden. I beräkningsanalysen har det således varit nödvändigt att genomgående göra grova och konservativa bedömningar med relevans för olika utföranden. Viktigt att poängtera är att det inom en specifik anläggning kan finnas förutsättningar som innebär att kortare eller längre avstånd än vad som anges ovan är nödvändigt för att erhålla en betryggande placering. I enlighet med SÄIFS 2000:4 kan ett minsta avstånd bestämmas genom en riskutredning som tar hänsyn till specifika förutsättningar inom anläggningen.

Denna utredning avser att utgöra underlag för vidareutveckling av de anvisningar som ges i BGA. Rapporten har granskats av medverkande i projektets referensgrupp, samt representant för MSB. Baserat på underlaget i denna rapport samtycker MSB till att de redovisade minsta avstånden, med angivna förutsättningar, medför att krav på betryggande placering i *Lag (SFS 2010:1011) om brandfarliga och explosiva varor* uppfylls.





Innehåll

1	Bakgrund	13
1.1	Allmän uppdragsinformation	13
1.2	Syfte	13
2	Metodbeskrivning	14
2.1	Avgränsning	14
3	Risikkällor inom biogasanläggningar	16
3.1	Biogas	16
3.2	Rötningsanläggningar	17
3.3	Incidenter & Olyckor	18
4	Referensanläggningar	21
4.1	Karpalund Biogasanläggning Kristianstad	21
4.2	Wrams Gunnarstorps Biogasanläggning	22
4.3	Hagelsrums Gård	22
4.4	Reflektioner efter platsbesöken	23
5	Minsta tillåtna avstånd i lagstiftning, föreskrifter och normer	24
5.1	Lag om brandfarliga och explosiva varor	24
5.2	Anvisningar för biogasanläggningar (BGA)	26
5.3	Behov av vidare analys	29
6	Beräkningsanalys	31
6.1	Dimensionerande scenarier	32
6.2	Skadekriterier för brand- och gasspridning	35
6.3	Värmestrålning från brand i byggnad	38
6.4	Värmestrålning från brand i gasbehållare	42
6.5	Sammanställning av beräkningsresultat	51
7	Rekommenderade minsta avstånd	53
8	Diskussion	54
9	Referenser	56





1 Bakgrund

Inför uppdateringen av Anvisningar för biogasanläggningar (till BGA 2012) [1] var en av frågeställningarna att utreda vilka minsta avstånd som kan tillämpas, mellan membranklockor och omgivande objekt på biogasanläggningar, för att uppnå en betryggande placering. Det ifrågasattes huruvida de minsta avstånden i SÄIFS 2000:4 [2] är relevanta för biogasanläggningar och återspeglar den risk som anläggningsdelarna medför. Speciellt utfördes beräkningar för strålning från brand i närliggande byggnad gentemot membranklocka, samt spridning av gas vid omfattande läckage, med resultatredovisning i utlåtande. Beräkningarna resulterade i uppdaterade avståndstabeller i den nya utgåvan av Anvisningar för biogasanläggningar (BGA 2012) med något reducerade avstånd mellan membranklocka och byggnader inom anläggningen.

De ovan nämnda beräkningarna baserades på grova och konservativa antaganden (d.v.s. antaganden som ger väl tilltagen marginal i resultatet), avseende de dimensionerande scenarierna, och endast membranklockor studerades. Det har visat sig därefter att det fanns behov och intresse av att utföra en mer detaljerad studie om betryggande avstånd inom biogasanläggningar.

1.1 Allmän uppdragsinformation

Utredningen utgör en fortsättning på det analysarbete om minsta avstånd kring membrangasklockor som genomfördes inför 2012 års revidering av Anvisningar för biogasanläggningar (BGA) [1] som ges ut av Energigas Sverige. I uppdraget utreds vilka risker som förknippas med biogasanläggningar och vilka minsta avstånd som kan vara relevanta.

1.2 Syfte

Projektet syftar till att ta fram rekommendationer för minsta avstånd mellan anläggningsdelar och omgivande objekt på biogasanläggningar, för att erhålla betryggande placering enligt *Lag (SFS 2010:1011) om brandfarliga och explosiva varor*. Avstånden skall vara väl förankrade i förutsättningar som är typiska för biogasanläggningar (gasvolym, tryck, system-/komponentdesign, riskreducerande åtgärder, materialval etc) samt återspegla både konsekvens och sannolikhet för möjliga olycksscenarier.

I förlängningen är syftet att projektet skall bidra till:

- Att skapa en ökad konsensus kring minsta avstånd som kan användas som utgångspunkt vid projektering och förenkla ansökningsprocessen för relevanta tillstånd.
- Mer effektivt utnyttjande av tillgänglig markyta.
- Fördelar i processer där avstånd kan innebära tekniska problem på grund av exempelvis nedkylning, flödesmotstånd och tryckfall i långa gasledningar.
- Identifiera eventuella riskkällor som ej beaktas inom ramarna för befintliga föreskrifter, normer och rekommendationer för minsta avstånd.

Utöver de aspekter som nämns ovan så läggs även fokus på att redogöra för olika tolkningar av befintliga anvisningar för minsta avstånd. Olika sätt att tolka och tillämpa anvisningarna finns och behovet av vägledning anses vara påtagligt.



2 Metodbeskrivning

Projektet har utförts med följande delmoment:

- I. Inledande studie av underlag
Insamling och inledande studie av underlag såsom regelverk, tillbuds- och olycksstatistik, dokumentation för referensanläggningar, befintliga riskanalyser etc. Tillbudsstatistik har eftersökts från MSB (Myndigheten för samhällsskydd och beredskap), Arbetsmiljöverket och Energigas Sverige.
- II. Besök till referensanläggningar
Ambitionen med besöken är dels att erhålla en god förståelse för produktionsprocessen och ingående moment/utrustning, men också att samla uppgifter om riskkällor, säkerhetssystem, avstånd och andra viktiga förutsättningar som påverkar utvecklingen av ett olycksscenario. Under besöken diskuteras även vilka problem som kan uppstå (eller uppstod under projekteringen) till följd av kraven på avstånd mellan anläggningsdelar, samt synpunkter på hur långa avstånd påverkar möjligheterna för processen att fungera optimalt.
- III. Beräkningsanalys för dimensionerande scenarier
Arbetet i denna analys har delvis utförts med kvalitativa resonemang tillsammans med beräkningar utgörande strålningsberäkningar samt beräkningar för spridning av gas.
Beräkningarna genomförs med avsikt att bestämma vilka minsta avstånd som bör rekommenderas inom biogasanläggningar. Beräkningarna genomförs för ett antal dimensionerande scenarier som definieras utifrån typiska förutsättningar inom biogasanläggningar. Scenarierna är framtagna utifrån principen att de bör vara s.k. "värsta troliga scenarier" och i arbetet har även viss hänsyn tagits till hur befintliga anvisningar har tagits fram.
Detaljer kring de studerade scenarierna, beräkningsmodeller och skadekriterier finns redovisat under respektive beräkningsavsnitt och i bilaga.
- IV. Rekommendation för minsta avstånd inom biogasanläggningar
Rekommendationer för minsta avstånd inom biogasanläggningar utvecklas med hänsyn till genomförda beräkningar men även befintliga anvisningar. Rekommendationerna åskådliggörs i tabellformat.

2.1 Avgränsning

Med biogasanläggningar avses i denna utredning anläggningar där gasproduktion sker genom rötning av organiskt material. Anläggningsdelar som beaktas inom detta projekt är avgränsat till de som förväntas vara specifika för produktionsdelen med lågt driftryck. Anläggningsdelar för rening, uppgradering och konditionering omfattas ej av utredningen. Högtrycksbehållare såsom gasflak och högtryckscisterner har ej heller beaktats. Detta är anläggningsdelar som inte är specifika för biogasbranschen och möjligheten att genomdriva förändringar ryms inte inom ramarna av detta projekt.

Utredningen avser endast avstånd mellan processdelar och byggnader inom anläggningen där risker förknippade med hanteringen av den brandfarliga varan är känd. De avstånd som har analyserats i detta uppdrag avser alltså inte minsta



avstånd mot väg, spänningsförande ledare, svårutrymda lokaler, material med stor brandbelastning eller objekt utanför anläggningen.

Beträffande minsta tillåtna avstånd till byggnader utanför anläggningen eller svårutrymda lokaler bedömer författarna att det finns ett större behov av konservatism då generella rekommendationer utformas. En betydande variation i förutsättningar bedöms kunna förekomma utanför anläggningen, jämfört med inom anläggningen. Därför förväntas även osäkerheterna bli betydligt större vid beräkning av generella schablonavstånd till objekt utanför anläggningen, jämfört med objekt inom anläggningen. I enlighet med hur befintliga schablonavstånd har bestämts till objekt utanför anläggningen, så anses det vara lämpligt att delvis basera dem på kvalitativa resonemang och ansätta dem med god säkerhetsmarginal. Alternativet att genomföra av en detaljerad riskutredning med hänsyn till specifika förutsättningar för det aktuella fallet bedöms vara speciellt befogat då en anläggning placeras nära objekt utanför anläggningen.

Arbetet med denna rapport utförs främst med hänsyn till den utformning av biogasanläggningar som motsvarar besökta referensanläggningar, samt utförande enligt BGA 2012 [1]. Vid förutsättningar som påtagligt skiljer sig från de som ligger till grund för denna analys bör en separat riskutredning utföras för att säkerställa att lämpligt avstånd föreligger.

Resultatet i denna rapport förutsätter att:

- Anläggningen byggs, kontrolleras och drivs enligt gällande Biogasanvisningar (BGA) från Energigas Sverige (undantaget anvisningar om minsta avstånd som strider mot resultatet i denna rapport). Vid utförande enligt tidigare utgåvor av Biogasanvisningarna ska det verifieras att skillnaderna inte påverkar slutsatserna i denna rapport.
- Byggnader inom anläggningen följer Boverkets byggregler BBR [11]
- Byggnader inom anläggningen har direkt anknytning till verksamheten (d.v.s. produktion av biogas)
- Brandbelastningen inom beaktade byggnader är lägre än 800 MJ/m² golvarea

Vid framtida revidering av *Biogasanvisningarna* (BGA) bör det verifieras att ändringarna ej påverkar antaganden och förutsättningar som har legat till grund för analysen i denna rapport, för att säkerställa resultatet fortsatt är giltigt.



3 Riskkällor inom biogasanläggningar

I detta avsnitt diskuteras biogas och produktionsprocessen överskådligt ur ett riskperspektiv.

3.1 Biogas

Biogas består huvudsakligen av metan och koldioxid och produceras då organiskt material bryts ner av mikroorganismer vid syrefria förhållanden. Sammansättningen varierar och beror på vilken typ av organiskt material som bryts ner och hur processen är utförd. Biogas innehåller även till viss del kväve, syre, väte, svavelföreningar och siloxianer [1]. I BGA 2012 har typiska värden för biogasens sammansättning vid olika produktionssätt uppmätts på olika anläggningar. Dessa redovisas i Tabell 1 nedan:

Tabell 1: Biogasens sammansättning för olika produktionsprocesser

Ämne	Deponi	Rötkammare Avloppsslam	Rötkammare Organiskt avfall	Anaerobfilter Spillvatten	Uppgraderad biogas
Metan [volym%]	35-65	60-70	60-80	70-80	95-99
Koldioxid [volym%]	15-50	30-40	20-40	20-30	Totalt (CO ₂ , N, O) max 5 vol.% varav syre max 1 vol. %.
Kväve [volym%]	5-40	0-1	0-1	spår	
Syre [volym%]	0-5	spår	Spår	spår	
Väte [volym%]	spår	spår	Spår	spår	
Svavelföreningar [ppm]	10-2000	0-50	50-2000 ppm	0-3000	31 (23mg/m ³)

Biogasens densitet påverkas av de olika möjligheterna till sammansättning som i sin tur är processberoende. I Tabell 2 nedan visas typiska egenskaper för biogas som är beroende av vilket steg i processen gasen befinner sig i.

Tabell 2: Biogasens egenskaper vid olika metanhalt

Ämne	50 % CH ₄	60 % CH ₄	65 % CH ₄	80 % CH ₄	97 % CH ₄
Relativ densitet (Luft=1)	1	0,9	0,9	0,8	0,6
LEL [%vol.]*	9	7	7	6	5
UEL [%vol.]*	33	28	25	21	17

* LEL står för Lower Explosive Limit, och UEL för Upper Explosive Level. Värden gäller för 20 °C och 1,013 bar.

Biogas är normalt lättare än luft och förväntas därför att stiga då den läcker ut mot atmosfären. Ren metan har ytterligare lägre densitet, vilket innebär att lyftkraften förväntas vara relativt hög vid en hög metanhalt. Om gasen har låg metanhalt kan det dock förekomma att gasen är tyngre än luft och därför tenderar att sjunka initialt mot marken. Samtidigt reduceras energiinnehållet i gasen i jämförelse med ren metangas vilket även påverkar brännbarhetsområdet för sammansättningen.

Biogas klassas som brandfarlig gas, med anledning av den höga metanhalten. Metan är en extremt brandfarlig gas. Den termiska tändtemperaturen för metan, dvs. den lägsta temperatur där gasen antänds spontant, är cirka 600°C [3; 4]. Den nedre



brännbarhetsgränsen (LEL) för biogas i röttningsanläggningar ligger runt 7 vol%. Biogasen är alltså en lättantändlig gas, men samtidigt är dess brännbarhetsområde inte lika brett som flertalet andra vanligt förekommande industrigas. Exempelvis har gasol (propan) en nedre brännbarhetsgräns på 2,2 vol% och en tändtemperatur runt 500°C.

3.2 Röttningsanläggningar

Röttningsanläggningar kan vara av olika utföranden. De huvudsakliga processstegen utgörs normalt av mottagning och förbehandling, rötning, efterbehandling, gassystem, gasbehandling och gasanvändning. I enlighet med avsnitt 2.1 omfattas inte processer för gasbehandling och gasanvändning av denna utredning. Det inledande steget, mottagning och förbehandling, studeras inte heller eftersom det inte involverar biogas.

Rötning av organiskt material till biogas sker i s.k. rötkammare. Rötkammaren är en sluten enhet, som vanligen utgörs av en gastät stående cylinderformad behållare. Det förekommer dock ett antal olika utföranden såsom liggande tankar, täckta bassänger etc. Rötkammare är till stor del fyllda med flytande slurry/slam, och producerad biogas samlas i toppen av kammaren ovanför vätskenivån. Rötning kan ske i ett eller flera steg, dvs. det kan finnas flera rötkammare inom en anläggning. I anslutning till rötkammarna kan det även finnas avgasningstankar, där nedbrytning och gasproduktion avstannar, innan rötresten transporteras till lagringstankar. Ett rötrestlager som är anslutet mot gassystemet har normalt samma utförande som en rötkammare. Övertrycket i en rötkammare är litet, vanligtvis 10-50 mbar. Rötkammare utformas vanligen i betong, stål eller emaljerad stålplåt. [1]

Med gassystem avses det lågtryckssystem som samlar upp gasen från de olika enheterna. Gassystemet har även till uppgift att vara tryckreglerande och fackla bort överskottsgaser. En viktig del av systemet är gasklockan, det vill säga en cistern vars volym ändras med gasmängden samtidigt som trycket hålls konstant. Gasklockan har en tryckhållande funktion, arbetar vanligen vid ett tryck under 50 mbar, samt utgör ett buffertlager för gas.

Gasklockor kan utföras på ett antal olika sätt, men det finns två huvudsakliga typer av gasklockor; stålklockor och membranklockor. En membranklocka är försedd med ett eller flera gastäta membranhöljen som höjs respektive sänks då volymen ändras. Trycksättningen sker med vikter eller lufttryck alstrat med fläkt. Membranen kan vara friliggande mot omgivningen, men det förekommer även varianter där membranen är placerade inuti en skyddande stålkonstruktion eller motsvarande. En annan variant är en membranklocka kombinerad med rötrestlager, där membranet byggs på toppen av en tank med rötrester. En stålklocka utgörs av en cylinderbehållare som justerar volymen genom att höjas och sänkas. Enligt uppgift förekommer det även gasklockor försedda med en omslutande betongkonstruktion.

3.2.1 Säkerhetsfunktioner

Säkerheten på en anläggning är beroende av många faktorer och är en sammanvägd produkt av tekniska och organisatoriska säkerhetsfunktioner. Nedan anges ett antal tekniska säkerhetsfunktioner som är typiska för rötkammare, rötrestlager och gasklockor:

- Över- och undertrycksskydd (säkerhetsventiler, säkerhetskärl)
- Automatiska avstängningsventiler för sektionering av gassystem (aktivering på lågt tryck, syredetektering eller andra fel)



- Anslutningspunkter för provtagning och inertgasfyllning
- Tryck-, temperatur- och flödesmätare
- Gasmätning, i synnerhet mätning av syrehalt
- Fackla (med flamspär) för hantering av överskottsgas
- Kondensfällor
- Skum/rötrestfällor på gassystemet
- Överfyllnadsskydd/bräddavlopp
- Nivåmätning mellan membranerna i dubbelmantlade membranklockor
- Reservkraftssystem
- Ex-klassad elektrisk utrustning inom klassade zoner

3.3 Incidenter & Olyckor

Energigas Sverige samlar löpande in uppgifter om incidenter och olyckor i Sverige som involverar biogas [5]. Sammanställningen bygger på rapporter från Energigas Sveriges medlemsföretag, bevakning av artiklar i dagspressen och avstämning med Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB). I övrigt har inget övergripande underlag gällande tillbuds- och olycksstatistik identifierats avseende biogasanläggningar. Det tillgängliga underlaget ger en bra beskrivning av möjliga scenarier, men materialet inte är tillräckligt omfattande för att utgöra en tillförlitlig grund för riskberäkningar med kvantifiering av sannolikhet.

För att ge läsaren en uppfattning om vilken typ av incidenter som kan förväntas vid biogashantering så redovisas utdrag av de uppgifter som sammanställts av Energigas Sverige i Tabell 3. Sammanställningen gäller för åren 2000-2011. Observera att uppgifterna har avidentifierats och innehåller mindre ändringar jämfört med grundmaterialet.

Tabell 3: Incidenter och olyckor med biogas, 2000-2011, ur sammanställning av Energigas Sverige

Datum	Händelse	Resultater personskador
110404	Vid niotiden på morgonen fick beredskapshavaren larm att den nyligen drifttagna gaseringen 2 stoppade på att en ventil stod i fel läge vid gasvärmaren i anläggningen. När han åkte in för att kontrollera vad som hänt upptäckte han att gasvärmaren till gastorken hade smält ur metallinneslutningen. Nu är gasvärmare utbytt mot ny enhet via säkerhetsbarriär och larm till säkerhets-PLC.	-
110513	Ett fartyg som arbetar med geologiska undersökningar hittade idag en gasficka i Hakefjorden utanför Göteborg. När man borrade i berggrunden och drog upp borren igen läckte stora mängder gas ut i vattnet. Området har tidigare använts som deponiplats och det hade bildats gas i fickor i sedimentet.	-
110912	Skadad biogasledning (högtryck)	-
110824	Avgrävd biogasledning (högtryck)	-
110819	Borrat i gasledning	-
100412	Explosion i lokal där slakteriavfallet hygieniseras innan det används som råvara i biogasprocessen. Sannolikt har metangas bildats och av någon anledning antänts.	-
101111	Metangas läcker i samband med gödselhantering på gård, räddningstjänsten tillkallas.	-
090205	Svåvkroppsmätare exploderade i uppgraderingsanläggning.	-
090409	Skumning i röt-kammare gav kraftig gasutveckling i bräddledning och gas trängde upp genom vattenlåset till personalens toalett i röt-kammarbyggnaden. Toalett, hall och kontrollrum gasfylldes. Strömmen bröts pga explosionsrisk och räddningstjänsten tillkallades, gasen vädrades ur.	-
080406	Metangasexplosion på reningsverk. En pump som betjänar en röt-kammare exploderade. Pumpen var avstängd vid tillfället, men troligen hade det bildats metangas av det slam som fanns kvar i ett par meter rör närmast pumpen. Ingen antändning skedde.	-



080507	Biogas från anläggningen på reningsverk läckte ut i en container där gasen förvarades i separata flaskor. Locket till containern lyftes av räddningstjänsten och gasen kunde släppas ut.	-
070510	Ett stort område på ett avloppsreningsverk spärrades av sedan en gasläcka uppstått i verket. Läckaget verkar ha uppstått i en ledning nära röt-kammaren. Orsaken till läckaget är inte känd.	-
070530	Läckage på 2 stycken 200 meter långa ledningar för 200 bar biogas har rapporterats. Läckagen förekom i det värmepåverkade områdena omkring svetsarna.	-
060601	Läckage i 4-barsnätet. Orsak okänd.	-
060213	Korrosion! Felaktigt material i "rostfria" ledningen	-
050126	Läckande biogas vid biogasanläggning.	-
050309	En abonnentcentral läckte gas, på grund av att av ledningar rört sig på grund av marksättningar. Ett friskluftsintag satt på en vägg ovanför centralen. Gas spred sig via friskluftsintaget.	-
040202	Läckage i brännarsträckan, vilket inte upptäcktes i samband med egenkontroll/installationsbesiktning. Gaslarmet detekterade inte omedelbart läckan pga felplacering?	-
040222	Bilist körde iväg med slangen kopplad till bilen efter tankning. Break-away-kopplingen lossnade inte som den skulle och dispensern välte. Ingen gas strömmade ur.	-
040612	Påfyllningsventilen till en biogastruck läckte gas, troligtvis pga en dålig packning. Huvudventilen stängdes av.	-
040823	Ett inläckage av tryckluft i kompressor i gasreningsaggregat (biogas produktionsanläggning). Orsaken var att en tryckluftslang till en avlastare hade lossnat när tryckluft var på och kompressorn ej var i drift.	-
030319	Vid avslutad tankning upptäcktes att gas strömmade ut under bilen med påföljd att man ej vågade starta utan fick ställa bilen till sidan och låta gasen läcka ut.	-
030525	En koppling på gasledning mellan gaslager och dispenser började läcka gas pga kombinationen klämringskopplingar och PV400 rör.	-
03XXXX	Det har varit problem med för låga odoriseringsnivåer på ett mindre nät.	-
03XXXX	Andra ledningsägare grävde upp en signalkabel, som markerade biogasledningen	-
020108	Gasläcka, pga att axeln till omrörare lossnat och fallit ned i rötgaskammare. Avloppsreningsverk.	-
020314	Gastank monterades bort från bil, men ventil kunde ej stängas och biogas läckte ut.	-
020517	Gasläckage vid bussramp.	-
020802	Vid tankning av lastbil lossnade munstycket med slang från slangbrottsventilen. Den senare var felmonterad.	-
020818	Brand i reningsverk,. Misstänkte först gasmotorn, men indikationer på ställverksfel har framkommit (dock ej verifierat)	-
020924	En 10-åring klev ner i silo för rötresten.	-
02XXXX	Mindre explosion på biogasanläggning. Intermittent drift, vilket gett kondens i gassystemet och påföljande korrosion med utebliven funktion, kan ha varit orsaken till explosionen.	-
010319	Brand i slamcistern som är del av en biogasanläggning.	-
01XXXX	Biogas som levererats var ej luktsatt.	-
01XXXX	Brand i biogasanläggning. En omrörare i en röttank skulle bytas. Gasen antändes och det dröjde flera timmar innan den släcktes.	-
01XXXX	Havererad kompressor pga fuktig luft som använts att höja trycket på biogas.	-
000614	Två incidenter har inträffat i samma pumpstation för lakvatten på ett avfallsupplag. Vid båda tillfällena har lakvattensystemet varit ur drift och ledningarna tömda på vatten. Gas från avfallsupplaget har då trängt in bakvägen i ledningssystemet och samlats i pumpstationen. Vid första tillfället antändes gasen då två besökare tände en cigarett samtidigt som de öppnade dörren till pumpstationen. Det blev en kraftig gasexplosion. Vid det andra tillfället skulle svetsarbete i pumpstationen utföras. Ledningsnätet för lakvatten tömdes. Gas från avfallsupplaget trängde då in bakvägen och en brunn fylldes med gas. Vid svetsningsarbetet antändes gasen. En svetsarbetare som stod på ett brunnsluck lyfte en bit.	En av personerna fick brännskador i ansiktet och på händerna.

Flertalet av de incidenter och olyckor som redovisas i Tabell 3 är inte direkt relevanta för rötningsanläggningar och ingående processer. Detta gäller bland annat incidenter



vid fordonstankning, abonnentcentraler och på distributionsnät. Ur underlaget kan dock följande risker utläsas för röttningsanläggningar:

- Vid omfattande skumning i rötkammare kan det föreligga risk för gasläckage via bräddledning och vattenlås.
- Rötrest som stängs in mellan avstängningsventiler riskerar att orsaka okontrollerad tryckhöjning pga fortsatt gasproduktion. Detta kan leda till kärlsprängning, till exempel i anslutning till rötrestpumpar.
- Gasläckage har förekommit från gasledningar som ansluter mot rötkammare.
- Gasläckage har även orsakats av att axeln till en omrörare lossnat och ramlat ner i behållaren.
- Mindre bränder har förekommit med elektrisk utrustning, rökning och svetsning som potentiella tändkällor.

Noterbart är att endast en av de rapporterade olyckorna är tydligt kopplad till resulterande personskada (brännskada). Vid jämförelse av rapporteringsunderlaget för biogasbranschen med motsvarande underlag för andra energigasbranscher (naturgas, stadsgas, fordonsgas, gasol, vätgas etc), tycks biogasbranschen även vara förhållandevis litet olycksdrabbad. Samtidigt ska det tolkas med viss försiktighet eftersom incidentunderlaget är starkt beroende av faktorer såsom antalet anläggningar och hur omfattande hanteringen är av respektive energigas. Underlaget är även beroende av rapporteringstillförlitligheten från branschen.

Incidenter, olyckor och riskbilden har även diskuterats med personer inom biogasbranschen. De gasutsläpp som förekommer tycks främst vara kontrollerade utsläpp via säkerhetsventil eller fackla. Övertryck och gasutsläpp via säkerhetsventil kan exempelvis uppkomma vid elavbrott, fel på pumpar eller vid arbete/ingrepp i systemet. Detta är dock beroende av anläggningens utförande. För rötkammare och liknande förväntas utströmningsflödet via en säkerhetsventil vara kontinuerligt eftersom gasproduktionen inte avstannar. Efter en tids utströmning kommer dock flödet att vara begränsat till produktionsflödet. En händelse som återspeglar detta var en mindre brand i toppen av en rötkammare som uppkom vid reparation av en omrörartätning. Reparationsarbetet genomfördes med elektriskt verktyg (icke godkänt för ATEX miljö) som antände utläckande gas. Branden underhölls av den kontinuerliga gasproduktionen, men flammorna blev aldrig särskilt stora och kunde släckas med en handbrandsläckare av räddningstjänsten.

Ingen av de rapporterade incidenterna är direkt kopplade till membrangasklockor. För membranklockor med två membranlager förväntas en spricka på det yttre membranet resultera i att det sjunker samman och lägger sig mot det inre. Liknande förlopp kan exempelvis inträffa vid strömavbrott på anläggningar där lufttrycket mellan membranerna hålls med en elektrisk fläkt. Vid spricka på det inre membranet förväntas biogas läcka ut till utrymmet mellan membranerna och därifrån kunna spridas till det fria via eventuella luftventiler (överloppsventil eller liknande).

Under normal drift är gasblandningen i systemet ej inom brännbarhetsområdet. Risken för en omfattande brand eller explosion förutsätter således att biogasen blandas med luft (syre) innan antändning kan ske. Det är därför viktigt att bibehålla ett kontinuerligt övertryck i gassystemet, vilket bland annat främjas av den kontinuerliga gasproduktionen. Extra försiktighet bör vidtagas i samband med fyllnad respektive tömning av systemen, eftersom brännbar gas- och luftblandning då uppkommer tillfälligt när brännbarhetsområdet passeras.



4 Referensanläggningar

Platsbesök har utförts till referensanläggningar som valts ut i samråd med referensgruppen i projektet. Besöken har utförts med avsikten att erhålla en bättre förståelse för produktionsprocessen samt ingående moment och utrustning. Under besöken har även placeringen av olika anläggningsdelar studerats i förhållande till varandra och omgivningen. Referensanläggningarna redovisas i tabell 4 nedan. Figur 1 visar fotografier från av författarna utfört platsbesök.

Tabell 4: Referensanläggningar

Anläggning	Företag
Karpalund biogasanläggning, Kristianstad	Kristianstad Biogas AB
Wrams Gunnarstorp Biogasanläggning	E.ON Gas Sverige AB
Hagelsrums Gård	Swedish Biogas International AB



Figur 1: Foton från referensanläggningarna som visar membranklocka på Hagelsrums Gård (uppe t.v.), membranklocka på Wrams Gunnarstorps Biogasanläggning (nere t.v.) och rötkammare på Karpalund Biogasanläggning (t.h.)

4.1 Karpalund Biogasanläggning Kristianstad

På Karpalund Biogasanläggning sker rötning av organiskt avfall. Producerad biogas transporteras från anläggningen via ledning till Allöverket där gasen används för fjärrvärmeproduktion och dels till reningsverket där den uppgraderas till fordonsgas.

Rötningen tar plats i tre stycken rötkammare (bioreaktorer) placerade intill varandra. Den huvudsakliga rötningen tar plats i två av kamrarna, där slammet hålls i cirka 40 dagar, och därefter sker efterrötning i den tredje kammaren under cirka 20 dagar. Rötkammarna är cirka 18-20 m höga och konstruktionen utgörs av bultad stål. För två



av dem är de vätskeberörda väggar av stål medan toppen är syrafast rostfritt stål i gasberörda delar. Den tredje är av epoxibehandlad stål. Tankarna är isolerade med mineralull och klädda med plåt. Taket på en av kammarna är dock oisolerat.

Det maximala produktionsflödet för de tre rötkammarna är 2000 Nm³/h och den producerade biogasen innehåller generellt 68% metan. Reaktorerna är 4000, 4500 respektive 6000 m³ stora. Fyllnadsgraden med slurry är normalt upp till 1 m från tak, vilket innebär att cirka 10vol% är gas. Trycket i rötkammarna uppgår max till 30 mbar, och säkerhetsventilerna öppnas vid 22 mbar.

Anläggningen omfattar ingen gasklocka.

I samband med att anläggningen utökades med en rötkammare (2010) diskuterades placering och minsta avstånd med Räddningstjänsten i Kristianstad kommun. Bakomliggande resonemang och strategi för placeringen finns dock ej redovisad i riskutredning eller motsvarande.

4.2 Wrams Gunnarstorps Biogasanläggning

Wrams Gunnarstorps Biogasanläggning (Söderåsens Bioenergi) är en produktionsanläggning där rötning sker av organiskt avfall. Inom området finns även en uppgraderingsanläggning med PSA (Pressure Swing Adsorption) teknik. I uppgraderingsanläggningen tillsätts även propan (ca 8-10 vol%) innan gasen distribueras ut på gasnätet.

Produktionsdelen omfattar bland annat en rötkammare och en membranklocka kombinerad med rötrestlager. Rötkammaren är cirka 16 m hög och dess konstruktion utgörs av emaljerad plåt som är bultad samman, isolering och en yttre plåtbeklädnad. Produktionsflödet biogas från rötkammaren är cirka 400-450 Nm³/h. Fyllnadsgraden är normalt runt 92 vol% slam, vilket innebär cirka 300 m³ biogas.

Från rötkammaren transporteras gasen genom självtryck till membranklockan (rötrestlagret). Klockan är utförd med dubbla membran i vävförstärkt PVC, där det yttersta är friliggande mot omgivningen, och botten utgörs av en före detta biogödseltank i betong. Membranklockan innehåller normalt 1500-3000 Nm³ biogas. Maximal teoretisk kapacitet är cirka 6500 Nm³ gas. Luft tillförs med fläkt till utrymmet mellan membranerna och tryckregleringen sker med en självverkande överloppsventil som är avstämd för systemtrycket 6 mbar. Gasfacklan som är placerad mellan rötkammaren och membranklockan, aktiveras vid cirka 80-90% nivå i klockan.

En kvantitativ riskutredning med konsekvensberäkningar genomfördes i samband med projekteringen av gasklockan för att bestämma minsta avstånd till omgivningen.

4.3 Hagelsrums Gård

Biogasanläggningen utgör en del av lantbruket Hagelsrums Gård. Rötning sker endast av gödsel från gården. Producerad gas förbränns inom en intilliggande kraftvärmeanläggning (CHP). Producerad värme förbrukas på gården, och producerad el förbrukas dels på gården och säljs dels för distribution på elnätet

Rötningen sker i en kombinerad rötkammare och membranklocka. Membranet är dubbelmantlat och trycket i gasdelen regleras till cirka 5,3 mbar. Säkerhetsventil med vattenlås öppnas vid ca 7 mbar. Luft tillförs med fläkt till utrymmet mellan gummimembranen och tryckregleringen sker med en självverkande överloppsventil. Vid långvarigt strömavbrott finns möjlighet att ansluta reservkraft till tryckhållningsfläkten. Mätutrustning finns för övervakning av nivån mellan membranerna.



Väggkonstruktionen i vätskedelen består av glasemaljerad plåt, 150 mm isolering och fasadplåt. Maximal biogasvolym är 1200 Nm³. Normalt är fyllnadsgraden gas inom intervallet 30-70 vol%. Producerad biogas innehåller cirka 50-60 vol% metan. Kvalitativ riskutredning genomfördes i samband med projekteringen av gasklockan.

4.4 Reflektioner efter platsbesöken

Nedan redogörs kort för författarnas reflektioner utifrån besöken till referensanläggningarna, men även observationer från tidigare projekt och erfarenheter.

Den kanske viktigaste reflektion är att det tycks förekomma skillnader mellan olika anläggningar avseende tolkning och tillämpning av de schabloner för minsta avstånd som finns i SÄIFS 2000:4 [2]. Olika tolkningar förekommer dels beträffande vilka anläggningsdelar som kravet på minsta avstånd omfattar, och dels vilka av de angivna schablonavstånden som kan tillämpas för olika anläggningsdelar och typiska utföranden. Problematiken bedöms delvis vara grundad i att schablonavstånden i SÄIFS 2000:4 är framtagna för hantering av brandfarlig gas i allmänhet, och av naturliga skäl är inte terminologin direktanpassad för biogasanläggningar. Noterbart är att det inte enbart är själva biogasbranschen, utan även räddningstjänster och konsultföretag tycks tolka och tillämpa schablonavstånden på olika sätt. Olika tolkning och tillämpning av föreskriften diskuteras ytterligare i avsnitt 5.1.2.

I riskutredningar och annan relevant anläggningsdokumentation så tycks upprätthållandet av ett minsta avstånd främst ha beaktats kring gasklockor. För rötkammare, rötrestlager, blandningstankar och liknande anordningar med en väsentligt volym biogas tycks det vara mindre förekommande att avståndsfrågan beaktas. Det är inte ovanligt att dessa är placerade förhållandevis nära varandra eller byggnader. En förklaring till detta bedöms vara att gasklockor omnämns specifikt i SÄIFS 2000:4 till skillnad från de övriga anordningarna, vilka kan tolkas som processkärl och i så fall inte omfattas av föreskriften (mer om detta i avsnitt 5.1.1). Det upplevs som otydligt huruvida ett minsta avstånd är nödvändigt kring rötkammare, rötrestlager och blandningstankar, och om det i så fall finns några lämpliga schablonavstånd att tillämpa. I sammanhanget är det viktigt att påpeka att all hantering av brandfarlig gas ska ske med betryggande placering, oavsett om hanteringen omfattas av SÄIFS 2000:4 eller inte (mer om detta i avsnitt 5.1). Däremot behöver en betryggande placering inte nödvändigtvis innebära krav på ett minsta avstånd.

En annan intressant fråga, som det tycks föreligga viss oenighet kring, är var gränsen går mellan teknikcontainer och byggnad. Är en teknikcontainer per definition en byggnad och bör den i så fall jämföras när det gäller schablonavstånd?



5 Minsta tillåtna avstånd i lagstiftning, föreskrifter och normer

Kravet på betryggande avstånd vid hantering av brandfarlig vara är kopplat till *Lag (SFS 2010:1011) om brandfarliga och explosiva varor* (LBE) [6]. Utifrån lagstiftningen är MSB (Myndigheten för Samhällskydd och Beredskap) bemyndigade att bereda föreskrifter på området. En av de föreskrifter som förmedlas av MSB är SÄIFS 2000:4 om *Cisterner, gasklockor, bergrum och rörledningar för brandfarlig gas*, vilken är relevant vid uppförandet och driften av en biogasanläggning. Denna föreskrift innehåller ett uttalat funktionskrav på betryggande avstånd, men anger även allmänna råd om minsta avstånd kring cisterner, gasklockor, bergrum och rörledningar för brandfarlig gas.

Vid utredning om lämpliga avstånd inom biogasanläggningar är det av stor vikt att beakta gällande krav och bakgrunden till befintliga anvisningar. Nedan återges och diskuteras relevanta krav och anvisningar om minsta avstånd i lagstiftning, föreskrifter och normer.

5.1 Lag om brandfarliga och explosiva varor

I *Lag (SFS 2010:1011) om brandfarliga och explosiva varor* (LBE) ställs följande krav på utförande och placering av byggnader och anläggningar där hanteringen ska ske: (10§):

"Byggnader och andra anläggningar där brandfarliga eller explosiva varor hanteras samt anordningar för hantering av sådana varor ska vara inrättade på ett betryggande sätt med hänsyn till brand- och explosionsrisken samt konsekvenserna av en brand eller en explosion. De ska också vara placerade så att motsvarande krav uppfylls i förhållande till omgivningen. Detta gäller också områden med sådana byggnader, anläggningar och anordningar."

Detta innebär att byggnader, anläggningar och anordningar, där brandfarlig gas hanteras, har ett lagkrav som anger att de ska vara placerade på ett betryggande sätt i förhållande till omgivningen.

5.1.1 SÄIFS 2000:4

I föreskriften SÄIFS 2000:4 om *Cisterner, gasklockor, bergrum och rörledningar för brandfarlig gas* förtydligas kravet på betryggande placering. I kapitel 5, *Minsta tillåtna avstånd*, anges följande:

"Avstånden mellan cistern, gasklocka eller rörledning med brandfarlig gas och kringliggande objekt skall vara betryggande. Avstånden skall

- *begränsa risken för brand och explosion i anläggningen vid brand i omgivningen,*
- *begränsa risken för brandspridning i anläggningen,*
- *begränsa risken för brand i omgivningen vid brand i anläggningen,*
- *göra det möjligt att utrymma området kring anläggningen vid brand innan kritiska situationer uppstår,*
- *bidra till att risken för gasspridning till slutna utrymmen begränsas, och*
- *bidra till att risken för pågrävning av rörledningar i mark begränsas."*

Föreskriften innehåller även kommentarer till respektive kapitel. Av kommentarerna framgår det att minsta tillåtna avstånd ska fastställas efter riskutredning, där hänsyn tas till anläggningsspecifika förutsättningar. Som ett alternativ till detta redovisas även avstånd som vanligen anses betryggande utan att en särskild utredning genomförs



(schablonavstånd). Minsta tillåtna avstånd kan alltså fastställas genom riskutredning, alternativt genom nyttjande av schablonavstånd. Viktigt att notera är att riskutredning kan medföra både längre och kortare avstånd än redovisade schablonavstånd, allt beroende av vilka risker som finns på anläggningen och vilka förutsättningar som föreligger i det aktuella fallet. Dock bedöms schablonavstånden i de flesta fall ge god marginal för upprätthållandet av betryggande avstånd.

Tabell 5 återger de schablonavstånd som, enligt kommentarerna till föreskriften, vanligen anses betryggande.

Tabell 5: Avstånd (tabell 5.1 i SÄIFS 2000:4)

	Byggnad i allmänhet, antändbart material eller brandfarlig verksamhet		Material med stor brandbelastning		Utgång från svårutrymda lokaler (meter)	Pump, förångare, mätarskåp (meter)	Fordon (meter)	Tankfordonets slanganslutningspunkt (meter)
	Utom anläggning (meter)	Inom anläggning (meter)	Utom anläggning (meter)	Inom anläggning (meter)				
Cistern 10–100 m ³	25*	12*	50*	25*	100*	3*	8*	12*
≤ 10 m ³	6*	6*	25*	12*	100*	3*	8*	12*
Tankfordonets slanganslutningspunkt	25*	12*	50*	25*	100*	3**		
Pump, förångare, mätarskåp		3**		12*		3**		3**
Torr gasklocka	50*	50**	100*	100**	100*			

* Med EI 60-avskiljning eller högre minskas avstånden till hälften.

** Med EI 60-avskiljning eller högre behövs inget avstånd.

I sammanhanget avser beteckningen stor brandbelastning t.ex. *brädgård, däckupplag och cistern för brandfarlig vätska ovan mark*. Med *svårutrymda lokaler* menas exempelvis samlingslokal, skola, sjukhus och daghem.

Noterbart är att föreskriften endast kopplar kravet på avstånd till omgivningen till cisterner, gasklockor och rörledningar med brandfarlig gas. Föreskriften omfattar exempelvis inte processkärl, vilket definieras som tryckkärl eller vakuumkärl som ingår i kemiskt eller fysikaliskt processsystem. Således omfattas inte destillations-, absorptions-, adsorptionstorn, reaktorer, mellanbehållare och liknande av föreskriften. Detta innebär bland annat att schablonavstånden inte är direkt tillämpliga för exempelvis bioreaktorer och rötammare. Observera att kravet på betryggande placering enligt LBE gäller trots detta, men det är inte lika uttalat att en betryggande placering förutsätter ett minsta avstånd mot omgivningen.

5.1.2 Tolkning av SÄIFS 2000:4 för biogasanläggningar

Som en del av arbetet med denna utredning har diskussion förts med representant från MSB för att erhålla en bild av hur anvisningarna för minsta avstånd har tillämpats för biogasanläggningar ur ett historiskt perspektiv [7]. I nedanstående punkter beskrivs relevanta tolkningar och tillämpningar av schablonavstånd för biogasanläggningar:

- *Torr gasklocka* enligt föreskriften ska tolkas som en membranklocka, d.v.s. där membranet utgör det yttersta lagret på gasklockan utan omgivande



skyddsskikt. Detta innebär bland annat att de schablonavstånd som anges för *Torr gasklocka* (se Tabell 5) endast avser membranklockor. Däremot är det rimligt att anta att de angivna schablonavstånden medför betryggande avstånd även för övriga typer av torra gasklockor, eftersom membranklockor generellt bedöms vara det mest riskfyllda utförandet.

- Analogt med föregående punkt så omfattar föreskriften inga uttalade schablonavstånd för övriga typer av torra gasklockor. Exempelvis finns det torra gasklockor där membranet omsluts av ett skyddande stålskikt. Denna typ av utförande har generellt bedömts ge ett skydd motsvarande en EI60 konstruktion, och således har placering utan ett minsta avstånd accepterats. Viktigt att notera är att jämförelsen med brandklass EI60 är kvalitativt genomförd, och typgodkännande finns ej. Utan att ta ställning till huruvida jämförelsen med klass EI60 är korrekt eller ej, så är det författarnas uppfattning att denna typ av informella tolkningar riskerar att medföra ytterligare oenighet kring tillämpningen av schablonavstånd.
- För våta gasklockor är det förekommande med tillämpning av schablonavstånd för cisterner i Tabell 5. Jämförelsen anses ej vara orimlig, men det är heller inte helt tydligt att det är en acceptabel tillämpning av schablonavstånden.
- Rötkammare, rötrestlager, blandningstankar och dylikt omfattas ej av föreskriften (se föregående avsnitt) och med anledning av detta har det inte nödvändigtvis bedömts vara relevant med ett minsta avstånd. Schablonavstånden har främst tillämpats för gasklockor och högtryckslager. I andra fall har rötkammare, rötrestlager, blandningstankar och dylikt jämförts med cisterner och tillhörande schablonavstånd i Tabell 5.

5.1.3 Författarnas reflektioner

Föreskriften syftar till att vara applicerbar för all typ av hantering av brandfarlig gas och kan av naturliga skäl inte beakta anläggningsdelar specifika för biogasanläggningar. Problem uppstår dock när informella tolkningar för tillämpning av schablonavstånden i föreskriften görs (och accepteras) utan att det motiveras eller dokumenteras i en riskutredning eller motsvarande. Det riskerar att utmynna i att tolkningar med tiden förvrängs och anpassas utan att hänsyn tas till eventuella förutsättningar som var grundläggande för den ursprungliga tolkningen.

Det framgår tydligt av föreskriften att minsta tillåtna avstånd ska fastställas efter riskutredning, men att tillämpning av schablonavstånden är ett alternativ som vanligen anses betryggande utan att en särskild utredning genomförs. Det är författarnas uppfattning att det är acceptabelt att tillämpa schablonavstånd, utan en särskild riskutredning, i de fall det är uppenbart att schablonavstånden är direkt avsedda för den aktuella anläggningsdelen. Vid minsta tolkning eller indirekta tillämpning av schablonavstånden bör det motiveras och dokumenteras.

Föreskriften lämnar frågetecken kring vilka schablonavstånd som är rimliga för exempelvis våta gasklockor, rötkammare, rötrestlager och dylikt. Likaså finns det frågetecken kring tillämpningen för torra gasklockor som inte är av membranutförande (friliggande membran mot omgivning).

5.2 Anvisningar för biogasanläggningar (BGA)

Branschorganisationen Energigas Sverige ger ut branschnormer för biogasanläggningar under namnet *Anvisningar för biogasanläggningar* (BGA). De två senaste utgåvorna av anvisningarna är BGA05 [8] och BGA12 [1]. I BGA har man



försökt att förtydliga och ge vägledning för hur schablonavstånden i SÄIFS 2000:4 kan tillämpas för biogasanläggningar.

BGA författas av representanter från branschen och skickas därefter på remiss till bland annat MSB. Historiskt har MSB även medverkat genom att författa eller revidera enskilda avsnitt. MSB bevakar att anvisningarna uppfyller krav i lagstiftningen om brandfarliga och explosiva varor. Detta innebär att den vägledning som ges i BGA bedöms motsvara de minsta tillåtna avstånd som ges i SÄIFS 2000:4. Detta medför att någon separat utredning om risker som krävs enligt 7§ Lagen (2010:1011) om brandfarliga och explosiva varor ej anses krävas om en anläggning uppförs, kontrolleras och drivs i enlighet med BGA. Således anses även betryggande avstånd tillgodoses vid efterlevnad av de minsta avstånd som schablonmässigt ges i BGA.

5.2.1 BGA 05

I BGA 05 lämnas hänvisning till de allmänna råden i SÄIFS 2000:4 med avseende på minsta tillåtna avstånd. Följande förtydliganden görs dock i texten [8]:

"För en torr gasklocka gäller generellt ett avstånd på 50 (100) m till andra byggnader. Om väggarna utförs i minst brandklass EI 60 kan avståndet reduceras till 0 meter inom anläggningen och till 25 (50) m till en annan verksamhet. Siffrorna inom parantes gäller för byggnader med stor brandbelastning. För våt gasklocka gäller 25 (50) meter utom anläggning och 12 (25) inom anläggning. Om väggar utförs i minst brandklass EI 60 kan avstånden halveras."

I BGA 05 förtydligades det alltså att det är acceptabelt att jämföra våta gasklockor med cisterner med avseende på schablonavstånd i SÄIFS 2000:4 (se avstånd för cisterner i Tabell 5).

I BGA 05 anges även att en "rötkammare är definitionsmässigt ej ett tryckkärl utan en cistern och ska följa de krav som SÄIFS 2000:4 anger". Utifrån denna mening kan det tolkas att även rötkammare ska jämföras med cisterner med avseende på schablonavstånd i SÄIFS 2000:4. Dock är detta motsägelsefullt, eftersom det ur texten i föreskriften går att tolka att bioreaktorer och rötkammare ej omfattas av SÄIFS 2000:4. Noterbart är att definitionen av rötkammare som en cistern har tagits bort från biogasanvisningarna i samband med uppdateringen till den senaste utgåvan BGA 2012.

5.2.2 BGA 2012

I BGA 2012 redovisas acceptabla schablonavstånd för biogasanläggningar i tabellform. En del av tabellerna är tydligt kopplade till avståndstabellerna i SÄIFS 2000:4, exempelvis gällande minsta avstånd kring högtryckslager (jämför med cistern), och till spänningsförande ledare. I likhet med föregångaren BGA 05 så motsvarar de angivna schablonavstånden för våta gasklockor (se Tabell 6 nedan) föreskriftens minsta avstånd för cisterner. Däremot innehåller BGA 2012 en egen tabell för membrangasklockor (torra gasklockor), se Tabell 7 nedan.

Vid uppdateringen till BGA 2012 utfördes beräkningar (redovisade i utlåtande [9]) för ett antal grovt ansatta brand- och gasspridningsscenario för att ge underlag för lämpliga minsta avstånd kring membrangasklockor. Dimensionerande scenario för gasspridningsberäkningar ansattes till ett totalhaveri där hela gasmängden släpps ut momentant. Detta bedöms vara ett osannolikt scenario, men en del av syftet var att visa att schablonavstånden för torra gasklockor i SÄIFS 2000:4 är överdimensionerade även vid jämförelse med ett så allvarligt scenario.

Även beräkningar för infallande värmestrålning mot membrangasklockor genomfördes för scenarion med brand i närliggande byggnad. I beräkningarna



ansattes olika värden för storleken på den strålande ytan (flammorna), vilket är en avgörande faktor för värmestrålningsberäkningar. Den största flamstorleken ansattes till 800 m², vilket får betraktas som ett högst osannlikt brandförlopp.

Beräkningarna förmedlar en fingervisning om en mer rimlig nivå på minsta avstånd mellan membrangasklockor och byggnader inom anläggningen, även om de snarare speglar "värsta möjliga scenarier" än "värsta troliga scenarier". Värden i Tabell 7 är baserade på ovan nämnda beräkningar.

Tabell 6: Minsta avstånd mellan stål-gasklocka (våt gasklocka) och omgivande byggnad (från BGA 2012)

Gasklocka	Inom anläggning		Utom anläggning	
	Annan byggnad (meter)	Annan byggnad med stor brandbelastning (meter)	Annan byggnad (meter)	Annan byggnad med stor brandbelastning (meter)
Stål-gasklocka (våt gasklocka)	12	25	25	50
Stål-gasklocka (våt gasklocka) Brandklassad fasad EI 60	6	12	12	25

Tabell 7: Minsta avstånd membranklocka (torr gasklocka) och omgivande byggnad (från BGA 2012)

Volym gasklocka (m ³)	Annan byggnad (meter)	Annan byggnad med brandklassad fasad EI 60* (meter)	Byggnad inom anläggning med brandteknisk avskiljning EI 60* (meter)
100	25	12	0
500	25	15	0
1000	25	18	0
2000	25	23	0
3000	27	-	0
5000	31	-	0

* Med brandklassad fasad i klass EI 60, samt obrännbar taktäckning klass A2-s1,d0 eller taktäckning i lägst klass B_{ROOF} (t2) på obrännbart underlag.

5.2.3 Författarnas reflektioner

I BGA 2012 [1] ges anvisningar om minsta avstånd mellan membrangasklocka och annan byggnad med eller utan brandklassad fasad, se Tabell 7. I samma tabell ges även schablonavstånd till byggnad inom anläggning med brandteknisk avskiljning EI 60. Tabellen bedöms av författarna vara otydlig avseende vilka byggnader som dessa avstånd kan tillämpas för. Exempelvis är det otydligt vad skillnaden är mellan *Annan byggnad med brandklassad fasad EI60* och *Byggnad inom anläggning med brandteknisk avskiljning EI 60*. I sammanhanget är det även viktigt att notera att beräkningar i [9] är genomförda med avseende på byggnader inom anläggningen. Det anses vara av stor vikt att tydliggöra hur avstånden i tabellen kan tillämpas, alternativt bör definitioner och avgränsningar tydligt anges i texten.

Författarna anser även att det finns ett behov av förtydligande gällande vilka schablonavstånd som, utifrån Tabell 7, kan accepteras mellan membrangasklockor med volym 3000-5000 m³ och *Annan byggnad med brandklassad fasad EI60*. I tabellen utläses ökande avstånd till närliggande byggnad med ökande volym på



gasklockan för kolumn 1, *Annan byggnad*. I kolumn 2, *Annan byggnad med brandklassad fasad EI60*, markeras avståndet med (-) då gasvolymen är 3000 m³ respektive 5000 m³.

I Tabell 6 från BGA 2012 har man valt att jämställa stål-gasklocka med våt gasklocka. Författarna anser att det finns ett behov av att förtydliga huruvida de angivna avstånden är tillämpbara för alla olika typer av gasklockor med stålkonstruktion (även torra) eller om de endast avser våta stål-gasklockor.

BGA ger mer nyanserade avstånd och bättre vägledning, jämfört med SÄIFS 2000:4, beträffande biogasanläggningar. Frågetecken kvarstår dock fortfarande kring hur och om rötkammare, rötrestlager och dylikt ska beaktas.

5.3 Behov av vidare analys

I de befintliga anvisningarna för minsta avstånd skiljer man på våta och torra gasklockor. Istället för att göra skillnad på våta och torra gasklockor, så bedöms det ur ett riskperspektiv vara mer relevant att göra skillnad på gasklockor utifrån vilket material den gashållande och skyddande konstruktionen är tillverkad i.

Materialegenskaperna för den gashållande konstruktionen bedöms överlag vara mer avgörande för riskbilden, än huruvida gasklockan är av våt eller torr typ. Således borde den gashållande och skyddande konstruktionen vara direkt styrande för det minsta tillåtna avståndet.

I enlighet med tidigare avsnitt 3.2 så är gasklockor huvudsakligen utförda med en gashållande vägg av membranduk, stål eller betong. Utanför den gashållande väggen kan det även förekomma ett isolerande och skyddande skikt. Det skyddande yttersta skiktet är vanligen en isolerad eller oisolerad plåtvägg, men även betong-/stenkonstruktioner förekommer.

För syftet med denna utredning görs följande grova indelning i tre kategorier där den skyddande konstruktionen utgörs av:

- a) Membranduk
- b) Stålvägg
- c) Betongvägg

Observera att indelningen avser det material som medför det huvudsakliga skyddet av gasen från omgivande faktorer, såsom infallande värmestrålning från en närliggande brand eller mekanisk åverkan. En membrangasklocka med en omslutande och skyddande stålvägg räknas alltså till kategori b) enligt ovan.

Resonemanget kan utvidgas för att även omfatta rötkammare, blandningstankar, rötrestlager och dylikt. Gasklockor, rötkammare, blandningstankar och rötrestlager är alla konstruktioner som kan innehålla stora volymer biogas. Skillnaderna är generellt små beträffande tryck, gasens sammansättning, fysikaliska egenskaper och potentiella tändkällor mellan de olika anläggningsdelarna. Ur ett riskperspektiv har de olika anläggningsdelarna många gemensamma nämnare och skillnader i minsta tillåtna avstånd borde (som exempel) inte nödvändigtvis vara relaterat till huruvida det är en rötkammare eller en gasklocka. Avståndet bör snarare vara relaterat till utförandet av den omslutande konstruktionen kring biogasen.

I praktiken tillämpas dock strängare krav för gasklockor jämfört med exempelvis rötkammare. En potentiell anledning till detta bedöms vara att gasdelen i rötkammare generellt är förklagd på en förhållandevis säker höjd över marken (och närliggande byggnader). Detta behöver dock inte alltid vara fallet, och bör därför ej heller ligga till grund för allmängiltiga rekommendationer. Noterbart är även att det även finns



gasklockor där gasen befinner sig med ett avstånd till marken, exempelvis en membrangasklocka som är sammanbyggd med bufferttank för rötresten.

Baserat på ovan utförs beräkningsanalys i kapitel 6 för gasbärande anläggningsdelar (våt gasklocka, torr gasklocka, rötchammare, rötrestlager eller blandningstank) där hänsyn främst tas till utförandet av den gashållande och skyddande konstruktionen. Detta bedöms ge en tydligare och mer enhetlig återspeglning av de risker som förknippas med en biogasanläggning.



6 Beräkningsanalys

De minsta avstånden i SÄIFS 2000:4 (i tabell 5.1) har baserats på fyra olika dimensionerande brandscenarier. Dessa scenarier har ansetts vara representativa för så kallade värsta troliga scenarion. Följande dimensionerande brandscenarier har använts [10]:

- Brand i träbyggnad
- Trasig packning i en fläns med läckage och antändning som följd ("flänsbrand")
- Spricka i slang (DN50) mellan cistern och tankfordonets anslutningspunkt ("slangbrott")
- Fordonsbrand (buss eller lastbil)

Med dessa dimensionerande brandscenarier som utgångspunkt har avstånden i SÄIFS 2000:4 bestämts utifrån beräkningar, tradition och erfarenhet. Beräkningar har alltså inte legat till grund för samtliga avstånd, utan flera av dem är baserade på kvalitativa resonemang och erfarenhetsbedömningar. Avstånd i SÄIFS 2000:4 bedöms medföra god marginal för upprätthållande av betryggande avstånd. [10]

Bakgrunden till de befintliga avstånden är viktig att beakta i arbetet med att ta fram förslag på anpassade rekommendationer för biogasanläggningar. Dels är det viktigt att förslaget på anpassade avstånd harmoniserar och är jämförbara med de befintliga anvisningarna, och dels är det viktigt att dimensionerande scenarier väljs med motsvarande sannolikhetsgrad som för gällande regelverk.

Ett antal av avstånden i SÄIFS 2000:4 har bestämts utifrån ett dimensionerande skadefall där en slang (DN 50) till ett tankfordon (högt tryck) antas spricka, varpå den utströmmande gasen antänds och bildar en jetflamma [7]. Detta är således att betrakta som ett "värsta troliga olycksscenario" för lagring av brandfarlig gas i en högtryckscistern. Det finns andra tänkbara olycksscenarier med potentiellt ännu större brandspridningsrisk, men avstånden har baserats på "värsta troliga scenarion" snarare än "värsta möjliga scenarion". Denna filosofi ligger även till grund för valet av dimensionerande scenarier i denna analys.

Efterlevnad av schablonmässiga krav eller rekommendationer innebär inte nödvändigtvis att utförandet klarar att upprätthålla den efterfrågade funktionen i alla möjliga scenarier. Jämför exempelvis med förenklad dimensionering (dimensionering efter schablon) av byggnaders brandskydd enligt BBR [11]. Med förenklad dimensionering enligt BBR anses tillfredställande skydd mot brandspridning mellan byggnader uppnås med ett minsta avstånd på 8 m mellan byggnader. Detta gäller generellt för byggnader (undantaget vissa typer av industrier och byggnader med hantering av brandfarlig vara) och hänsyn tas ej direkt till byggnadens övriga brandskydd eller storlek. Ett minsta avstånd på 8 m bedöms vara tillräckligt för att förhindra brandspridning för de allra flesta bränder, men det finns onekligen byggnader och brandscenarier som kan orsaka brandspridning på ännu längre avstånd. Ett visst inslag av kostnad mot nytta vägs alltid in i schablonmässiga krav eller rekommendationer.

En annan princip som tillämpas i de befintliga anvisningarna för minsta avstånd är att en halvering, eller för en del fall fullständig reducering, av avståndet accepteras om skyddsobjekt och riskkälla skiljs från varandra med brandteknisk avskiljning i lägst brandteknisk klass EI60. Nyttan av denna åtgärd är baserad på kvalitativa bedömningar [10], dvs. den har inte verifierats med beräkningar. Principen med



reducerade avstånd vid klass EI60 bedöms även vara applicerbar för de rekommendationer som tas fram i denna studie.

6.1 Dimensionerande scenarier

I SÄIFS 2000:4 [2] anges det att avstånden mellan cistern, gasklocka eller rörledning med brandfarlig gas och kringliggande objekt skall vara betryggande. Avstånden skall:

- a) begränsa risken för brand och explosion i anläggningen vid brand i omgivningen,
- b) begränsa risken för brandspridning i anläggningen,
- c) begränsa risken för brand i omgivningen vid brand i anläggningen,
- d) göra det möjligt att utrymma området kring anläggningen vid brand innan kritiska situationer uppstår,
- e) bidra till att risken för gasspridning till slutna utrymmen begränsas, och
- f) bidra till att risken för pågrävning av rörledningar i mark begränsas.

I denna utredning läggs huvudsakligt fokus på kriterierna a), b), c) och e). Utrymning, kriterium d), anses inte vara relevant att studera i detta sammanhang, eftersom de aktuella anläggningsdelarna generellt är friliggande objekt, inom vilka personer normalt ej vistas. Utrymning från närliggande byggnader tillgodoses genom att risken för brandspridning begränsas (kriterium b) och c)). Kriterium f) gällande placering av rörledningar i mark beaktas ej i utredningen, eftersom det bedöms vara av sekundär betydelse för utförandet av biogasanläggningar.

I enlighet med ovanstående är syftet med avstånd mellan objekt inom biogasanläggningar att begränsa risken för brandspridning samt gasspridning till slutna utrymmen. Vid utredning av brandspridningsrisken inom en anläggning är det viktigt att dels studera bränder inom eller vid de gasbärande konstruktionerna, och dels i närliggande objekt. Risken för brandspridning uppkommer främst till följd av värmestrålning från flammor. Vid hög och långvarig värmestrålning mot ett angränsande objekt sker en kontinuerlig temperaturökning med risk för antändning.

Viss risk för brandspridning bedöms även uppkomma vid omfattande gasläckage (gasspridning) och fördröjd gasmolnsexplosion. Vid antändning av en brännbar gas- och luftblandning sker mycket snabb förbränning som ger upphov till en flamfront och tryckvåg. Varaktigheten i förbränningen beror på flera faktorer, däribland gasvolymen, men generellt är förloppet förhållandevis kort. Brandspridningsrisken uppkommer således snarare till följd av direkt flampåverkan än långvarig värmestrålning, och antändning förutsätter någorlunda lättantändligt material. Kraften i tryckvågen är beroende av turbulensen i flamfronten. Hur stor turbulensen blir beror på i vilken miljö som flammen breder ut sig i. Om det finns mycket hinder i flammans väg eller om gasblandningen är innesluten uppstår hög turbulens. I enlighet med föreskriften [2] ska gasspridningsrisken begränsas till slutna utrymmen. Syftet med detta är troligtvis att begränsa risken för lokal ansamling av hög gaskoncentration, men även att undvika hög tryckuppbyggnad vid en eventuell explosion.

I föreskriften anges det även att gasspridningsrisken anses beaktad om öppningen till slutna utrymmen ligger utanför EX-klassat område (dvs. område med potentiellt explosiv atmosfär). EX-klassning omfattar generellt områden kring utrustning där ett visst läckage eller kontrollerat gasutsläpp kan förväntas. Typiska exempel på sådan utrustning är säkerhetsventilers utblåsning, provtagningspunkter och manluckor. För gasbehållare (cisterner, flaskor etc.) vars mantelyta medför ett beständigt skydd mot mekanisk påverkan (exempelvis stålkonstruktioner) från omgivningen, förväntas



riskerna för gasläckage vara begränsade till de komponenter som omfattas av EX-klassningen. Detta medför i sin tur viss kontroll, avseende lokalisering och storlek, över de mest sannolika läckagen. Analogt med detta anses gasspridningsrisken från gasbärande anordningar med omslutande stål- eller betongkonstruktion vara beaktad om öppningen till slutna utrymmen ligger utanför EX-klassade områden. Gasspridningsberäkningar är därmed inte relevanta vid bedömning av betryggande avstånd kring dessa.

Beträffande membrangasklockor anses det vara osäkert om motsvarande argumentation kan föras. Detta eftersom utförandet skiljer sig förhållandevis mycket från andra typiska gasbärande anordningar. Med tanke på att membranet inte förväntas ha lika god motståndsförmåga mot extern mekanisk påverkan, så bedöms läckagerisken inte vara lika tydligt avgränsad till enskilda komponenter och begränsade ytor. I sammanhanget ska det nämnas att incidentrapporteringen, som studerats under arbetet med denna utredning, inte innehåller någon händelse med gasläckage till följd av en membranspricka eller försvagad dukinfästning. Trots detta anses det mer sannolikt att ett omfattande och okontrollerat gasläckage uppstår från en membrangasklocka, jämfört med motsvarande anläggningsdel i stål- eller betongkonstruktion. Därmed anses det vara relevant att studera gasspridningsrisken vid bedömning av betryggande avstånd kring membrangasklockor.

6.1.1 Scenariostruktur

Den scenariostruktur som används i analysen redovisas översiktligt i Tabell 8 enligt med ovanstående resonemang studeras de tre grundscenarierna *värmestrålning från brand i byggnad*, *värmestrålning från brand i anläggningsdel*, och *gasspridning från membranklocka*. Respektive grundscenario bryts ner i ett antal delscenarier för att ta hänsyn till konstruktionsförutsättningar dels för källan (där branden eller gasläckaget uppstår) och dels för mottagaren (exponerat objekt). Med *obrännbart* avses i denna rapport material som uppfyller lägst klass A2-s1,d0.



Tabell 8: Scenariostruktur för analysen

Grundscenario	Konstruktionsförutsättningar		Kommentar
	Källa	Mottagare	
Värmestrålning från brand i byggnad	Byggnad - Brännbar fasad	Gasbehållare – Membran	-
		Gasbehållare – Stålkonstruktion	-
		Gasbehållare – Betongkonstruktion	Beräknas ej (a)
	Byggnad- Obrännbar fasad	Gasbehållare – Membran	-
		Gasbehållare – Stålkonstruktion	-
		Gasbehållare – Betongkonstruktion	Beräknas ej (a)
	Byggnad-Brandklass EI60	Gasbehållare – Membran	Beräknas ej (b)
		Gasbehållare – Stålkonstruktion	Beräknas ej (b)
		Gasbehållare – Betongkonstruktion	Beräknas ej (b)
Värmestrålning från brand i anläggningsdel	Gasbehållare - Stål- eller betong	Byggnad - Brännbar fasad	-
		Byggnad - Obrännbar fasad	-
		Byggnad - Brandklass EI60	Beräknas ej (b)
		Gasbehållare – Membran	-
		Gasbehållare – Stålkonstruktion	-
		Gasbehållare – Betongkonstruktion	Beräknas ej (a)
	Gasbehållare - Membran	Byggnad - Brännbar fasad	-
		Byggnad - Obrännbar fasad	-
		Byggnad - Brandklass EI60	Beräknas ej (b)
		Gasbehållare – Membran	-
		Gasbehållare – Stålkonstruktion	-
		Gasbehållare – Betongkonstruktion	Beräknas ej (a)
Gasspridning från membranklocka	Gasbehållare - Membran	Byggnad - Brännbar fasad	-
		Byggnad - Obrännbar fasad	Beräknas ej (c)
		Byggnad - Brandklass EI60	Beräknas ej (c)
		Gasbehållare – Membran	-
		Gasbehållare – Stålkonstruktion	Beräknas ej (c)
		Gasbehållare – Betongkonstruktion	Beräknas ej (c)

I enlighet med tabellen så omfattar analysen inte beräkningar för samtliga av de beaktade delscenarierna. Följande resonemang beskriver varför beräkningar ej anses vara relevant för aktuella delscenarier (se bokstavsbezeichnung i kommentarskolumnen i Tabell 8).

- a) För värmestrålningsscenarierna bedöms det ej vara relevant att genomföra beräkningar avseende infallande värmestrålning mot betongkonstruktioner. Betong är obrännbart och har relativt låg värmekonduktivitet. Den låga värmekonduktiviteten begränsar temperaturstegringen inne i konstruktionen, vilket medför en god motståndskraft mot infallande värmestrålning. Betongkonstruktioner som utsätts för omfattande och direkt brandpåverkan riskerar att drabbas av ytavspjälkning eller avflagning av större eller mindre delar av betongen [12], men detta bedöms ej vara relevant i det aktuella



sammanhanget där branden är lokaliserad på avstånd från betongkonstruktionen.

- b) För byggnader som är brandtekniskt avskilda i lägst klass EI60 bedöms lämpligt minsta avstånd kvalitativt utifrån principen att den riskreducerande effekten motsvarar en halvering av avståndet. För att kunna tillgodoräkna denna riskreducerande effekt ska det verifieras att konstruktionen verkligen uppfyller brandklass EI60 eller högre. Detta gäller även vid utbyggnad av befintliga anläggningar, där det ibland kan vara svårt att verifiera brandklassen på befintliga konstruktioner. Betongkonstruktioner har normalt goda brandavskiljande egenskaper, men man bör vara observant på betong innehållande ersättningscement (E-cement), vilket huvudsakligen användes i Sverige under 1940-talet. Betong innehållande ersättningscement (E-cement) har sämre hållbarhet och beständighet mot brand jämfört med betong med vanlig portlandcement, vilket bör beaktas när den avskiljande förmågan bedöms.
- c) För gasspridningsscenarierna bedöms det endast vara relevant att beakta gasspridning mot byggnad med brännbar fasad respektive anläggningsdel med friliggande membran. Påverkan på objekt med obrännbara ytskikt bedöms vara försumbar vid antändning av ett gasmoln i det fria, förutsatt att det ej förekommer oskyddade öppningar (fönster, ventilationsöppningar och liknande). Förbränningsförloppet sker med kort varaktighet, och antändning bedöms förutsätta förekomst av ett någorlunda lättantändligt material.

6.2 Skadekriterier för brand- och gasspridning

I detta avsnitt redovisas och motiveras val av kriterier för brandspridning. För värmestrålningsberäkningarna uttrycks skadekriteriet som högsta tillåtna infallande värmestrålning (kW/m^2). Kriteriet varierar utifrån relevanta material- och konstruktionsförutsättningar. För spridningsberäkningarna bedöms risk för brandspridning föreligga fram till det avstånd där gas-/luftblandningen ej längre ligger inom brännbarhetsområdet (dvs där den nedre brännbarhetsgränsen passeras).

6.2.1 Brandspridning till gasbärande anläggningsdel

Risken för brandspridning uppkommer till följd av värmestrålning från brand i närliggande byggnad eller brännbart material. Värmestrålning som infaller mot en gasbärande anläggningsdel ger över tid en temperaturhöjning, dels i den omslutande konstruktionen och dels i gasen. Förmågan att motstå infallande värmestrålning är huvudsakligen beroende av egenskaperna hos den omslutande konstruktionen.

Brandspridning bedöms kunna uppkomma ifall temperaturen på konstruktionens insida överstiger biogasens termiska tändpunkt, samtidigt som koncentrationen gas ligger inom brännbarhetsområdet. Risk för brandspridning föreligger även ifall värmestrålningen kraftigt försämrar hållfastheten, alternativt medför antändning, av den omslutande konstruktionen.

Den termiska tändtemperaturen för ren metangas är cirka 600°C [3; 4], och sannolikt är tändtemperaturen något högre för biogas med anledning av koldioxidinblandningen. Risken för antändning av biogasen begränsas ytterligare genom att koncentrationen biogas i systemet normalt ligger över brännbarhetsområdet. För antändning krävs således att biogasen läcker ut till det fria (exempelvis via säkerhetsventil p.g.a. tryckökningen) eller att syre plötsligt införs i behållaren. Inläckage av syre är generellt



ett osannolikt scenario eftersom ett övertryck eftersträvas i processen, vilket delvis bibehålls genom kontinuerlig gasproduktion där rötning sker.

Risken för brandspridning beror även av huruvida det finns slam i behållaren eller inte, dvs om det sker en rötningsprocess eller om behållaren enbart är för gaslagring. Eventuell förekomst av slam bidrar med en kylande effekt och uppvärmningen tar betydligt längre tid. Direkt hänsyn tas dock ej till detta i beräkningarna. För behållare med slam i botten är det primärt värmestrålningen mot, och temperaturen i, konstruktionen och gasen ovanför vätskeytan som är av intresse.

Membranhölje

För membrangasklockor antas det att brandspridning i första hand sker genom antändning av själva membranet. Materialegenskaperna kan variera mellan olika tillverkare, men i enligt med BGA12 [1] ska membranet vara utfört i UV-beständigt och flamresistent material. Material kan klassas som flamresistent exempelvis genom testförfarande för klass B1 i DIN 4102 [13]. Att ett material håller klass B1 innebär i praktiken att det är svårantändligt (*schwerentflammbar*) och ofta självslocknande utan underhållande flamma. Författarna har tagit del av en testrapport [14] från en tillverkare av membrandukar, vilken visar att materialet brinner med begränsad flamspridning (motsvarar klass B1) vid antändning med pilotlåga. Materialet självslocknar dock kort efter att pilotlågan tas bort.

Membranen utförs generellt i tjock vävförstärkt PVC, med lackerade ytskikt för förbättrad funktion. Antändning av membran förväntas inträffa vid infallande värmestrålning överstigande 26 kW/m^2 . Skadekriteriet är baserat på tabellerat värde i [3] avseende kritisk värmestrålning (*critical heat flux*) och PVC-väv. Kritisk värmestrålning är i detta fall definierat som högsta värmestrålning som materialet kan exponeras för, under 15 min och med närvaro av en pilotlåga, utan att antändas.

I analysen tillämpas, i enlighet med ovan, 26 kW/m^2 som skadekriterium för infallande strålning mot membranhölje.

Stålkonstruktion

Att ange en entydig kritisk temperatur när stor risk för antändning föreligger är mycket svårt och beror helt på de specifika förutsättningarna. Skillnader i utförande, exempelvis gasvolym, vätskevolym och isolering, medför även variationer i uppvärmningsförloppet, d.v.s. förhållandet mellan temperatur och infallande värmestrålning. Det föreligger således vara problematiskt att genomföra värmeledningsberäkningar för ett allmängiltigt utförande. För syftet i denna analys kommer skadekriteriet istället att väljas kvalitativt utifrån nedanstående resonemang.

I enlighet med beräkningar i SP Rapport 1996:6 [15] förväntas 30 minuters infallande värmestrålning motsvarande 35 kW/m^2 kunna ge upphov till en ståltemperatur (ovanför vätskeytan på en cistern av typisk konstruktion) inom intervallet $450\text{--}550^\circ\text{C}$. Se Figur 2 på efterföljande sida.

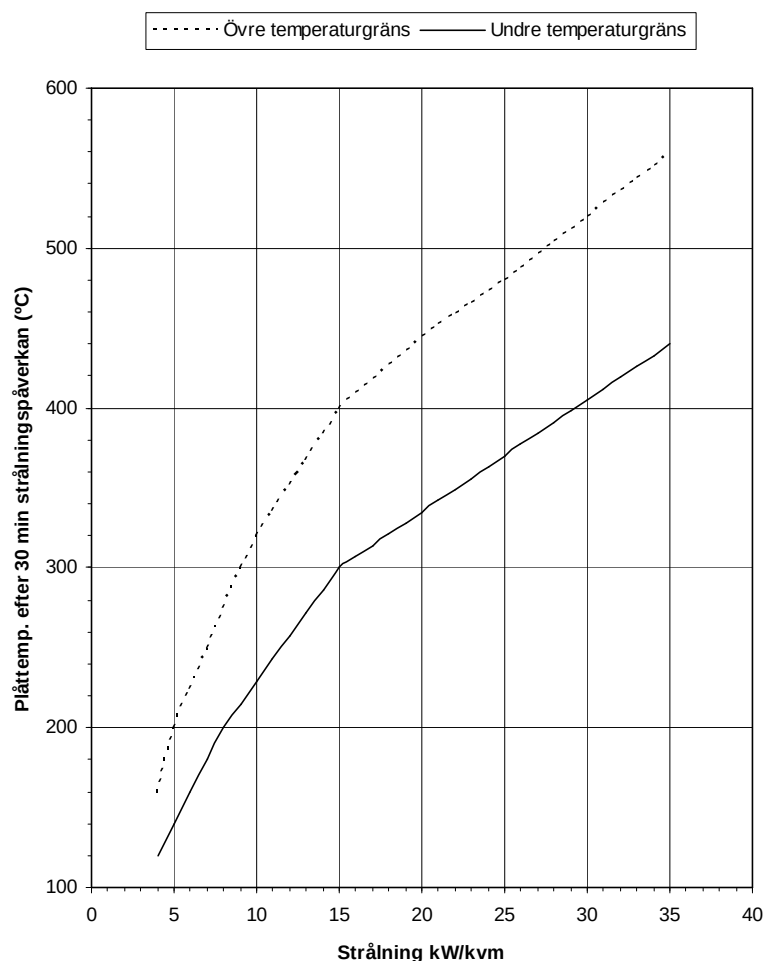
I enlighet med detta är det rimligt att anta att 30 minuters infallande värmestrålning över 35 kW/m^2 krävs för att temperaturen på mantelytans insida ska överstiga den termiska tändtemperaturen för metan, ca 600°C . Beräkningarna är främst genomförda med avseende på stora cisterner med brandfarlig vätska, exempelvis cisterner inom oljedepåer, men resultatet bedöms även vara applicerbart i detta sammanhang eftersom de grundläggande principerna är desamma.

I en rapport från SRV [16] anges det dock att en strålningsnivå på ca 32 kW/m^2 medför en så hög ståltemperatur att hållfastheten påverkas kraftigt och risken är stor för att utrustning brister med utflöde som följd. Detta stämmer väl överrens med



temperaturberäkningar i SP Rapport 1996:6, givet att kritisk temperatur (då materialet förlorar halva sin tryckbärande förmåga) för konstruktionsstål är 538°C [3]. Avläsning av den övre temperaturgränsen i Figur 2 ger att 32 kW/m² motsvarar ungefär 538°C efter 30 minuters infallande strålning.

I analysen tillämpas 32 kW/m² som skadekriterium för infallande strålning mot gasbehållare med omslutande stålkonstruktion. Denna strålningsintensitet bedöms medföra konsekvenser på stålets hållfasthet efter cirka 30 minuter, vilket innebär att det även finns goda förutsättningar för räddningstjänsten att inleda släck- respektive kylningsinsats.



Figur 2: Övre respektive undre temperaturgräns hos en cisternplåt efter 30 minuters exponeringstid som funktion av infallande strålningsnivå (här återgivet utifrån original i [15])

Betongkonstruktion

I enlighet med resonemang i avsnitt 6.1.1 har betong god motståndskraft mot värmestrålning. Beräkningar genomförs inte avseende infallande värmestrålning mot betong och analogt med det anges inget skadekriterium.



6.2.2 Brandspridning till byggnader

I Boverkets allmänna råd om analytisk dimensionering av byggnaders brandskydd, BFS 2011:27 – BBRAD 1 [17], anges det att "byggnader bör utformas så att strålningsnivån mot närliggande byggnad understiger 15 kW/m^2 i minst 30 minuter", med syftet att begränsa risken för brandspridning. Alternativa strålningsnivåer kan dock bestämmas utifrån fasadytornas utformning och material, eftersom motståndsförmågan mot värmestrålning varierar.

Analogt med detta anges det i SÄIFS 2000:4 att Boverkets gräns för antändning av byggnader i trä, dvs 15 kW/m^2 under 30 minuter, ska beaktas vid utredning av minsta tillåtna avstånd.

I analysen tillämpas, i enlighet med ovan, 15 kW/m^2 som skadekriterium för infallande strålning mot byggnader. Samma kriterium används oberoende om fasaden är utförd i brännbart eller obrännbart material (d.v.s. material i lägst klass A2-s1,d0). Det är sannolikt att en obrännbar fasad ger ett bättre skydd mot infallande värmestrålning jämfört med en brännbar, men eftersom ytterväggens övriga utförande kan variera så är det svårt att ange ett specifikt skadekriterium för infallande värmestrålning mot en obrännbar fasad. Även om fasadskiktet är obrännbart kan finnas brännbart material direkt bakom fasadskiktet och även oskyddade fönsterytor kan förekomma.

6.2.3 Gasspridning

För gasspridningsscenario studeras det längsta avstånd från läckaget där brännbara koncentrationer av biogas uppnås, d.v.s. avståndet till den undre brännbarhetsgränsen (LEL). Brännbarhetsområdet varierar med biogasens sammansättning (metanhalten etc.). I analysen ansätts en gassammansättning med 65% metangas, vilket medför en undre brännbarhetsgräns på ca 7 vol% [1].

6.3 Värmestrålning från brand i byggnad

Nedan redovisas beräkningsgång, förenklingar och antaganden som används i analysen. Hänvisningar ges till ekvationer som redovisas i sin helhet i bilaga A.

Värmestrålningsberäkningar [ekv. 1.1] för brand i byggnad baseras på antagandet att brandens flamfront antar formen av en strålande vertikal rektangel. Den strålande ytans temperatur ansätts till 950°C (1223 K), vilket korresponderar med en utgående strålningsintensitet på ca 114 kW/m^2 (givet en emissivitet på 0,9). Vald temperatur kan jämföras med att temperaturen på flammorna i och strax ovanför en fönsteröppning från en brinnande byggnad generellt ligger i intervallet $800\text{--}1000^\circ\text{C}$ [18]. Högre temperatur bedöms kunna förekomma lokalt i flammorna, men den ansatta temperaturen speglar en uppskattning av medeltemperaturen över hela flamfronten.

Hur stor andel av den utgående strålningsintensiteten som infaller mot närliggande objekt styrs huvudsakligen av den så kallade vinkelkoefficienten (synfaktorn) och den atmosfäriska transmissionsförmågan [ekv. 3.1]. Vinkelkoefficienten är en geometrisk faktor och i beräkningarna för värmestrålning från brand i byggnad används ett uttryck för den maximala vinkelkoefficienten för en plant strålande yta [ekv. 2.1-2.7].

Storleken (arean) på den strålande ytan (d.v.s. flammorna storlek) samt flammans lokalisering gentemot andra objekt är direkt avgörande för vinkelkoefficienten och den infallande strålningsintensiteten mot närliggande objekt. Flammornas storlek beror i sin tur på förutsättningarna för brandspridning inom byggnaden, längs dess fasad och i takkonstruktionen. I enlighet med [17] ska hänsyn bland annat tas till storlek på brandceller och öppningar i yttervägg vid analys av brandspridning mellan byggnader.



Byggnadens brandcellsindelning ska förhindra eller fördröja brandspridning inom byggnaden och kommer onekligen även att ha stor inverkan på om och hur brandspridning sker till och utmed fasaden. Temperaturen i den brandhärjade brandcellen leder så småningom till att fönster spricker, varpå flammor i sin tur sticker ut genom fönstret och resulterar i värmestrålning mot omgivningen. Avgörande för storleken på strålningen blir därför fönsterarean inom den brandhärjade brandcellen, tillsammans med ytor som upptas av flammor ut genom fönster. Om fasad är utförd i brännbart material, måste det även förutsättas att fasadpartier ovanför fönsteröppningar deltar i brandens utveckling. I ett senare skede av brandförloppet riskerar även partier i fasaden, där den bärande konstruktionen inte utförs brandskyddad, att förlora sin bärande förmåga och rasa. I Eurocode 1 [19] rekommenderas det att fasadpartier, som riskerar att förlora sin bärighet vid brand, inkluderas i den strålade ytan. Dock ska den strålade ytan maximalt omfatta 50 % av brandcellens ytterväggs area. I [18] rekommenderas det att generellt utelämna ytterväggar från den strålade ytan, eftersom de höga kraven på värmeisolering i Sverige onekligen medför ett visst brandmotstånd. I redovisade beräkningsexempel jämföras den strålade ytan istället med förekommande fönsteröppningar i brandcellen och fasadytor mellan öppningarna.

Med tanke på att de beräknade avstånden ska vara allmängiltiga för olika typer av byggnader som kan förekomma inom biogasanläggningar anses det vara nödvändigt att basera beräkningarna på grova antaganden för storleken på den strålade flamfronten. För att spegla variationer i byggnaders utförande, genomförs följande indelning i tre kategorier:

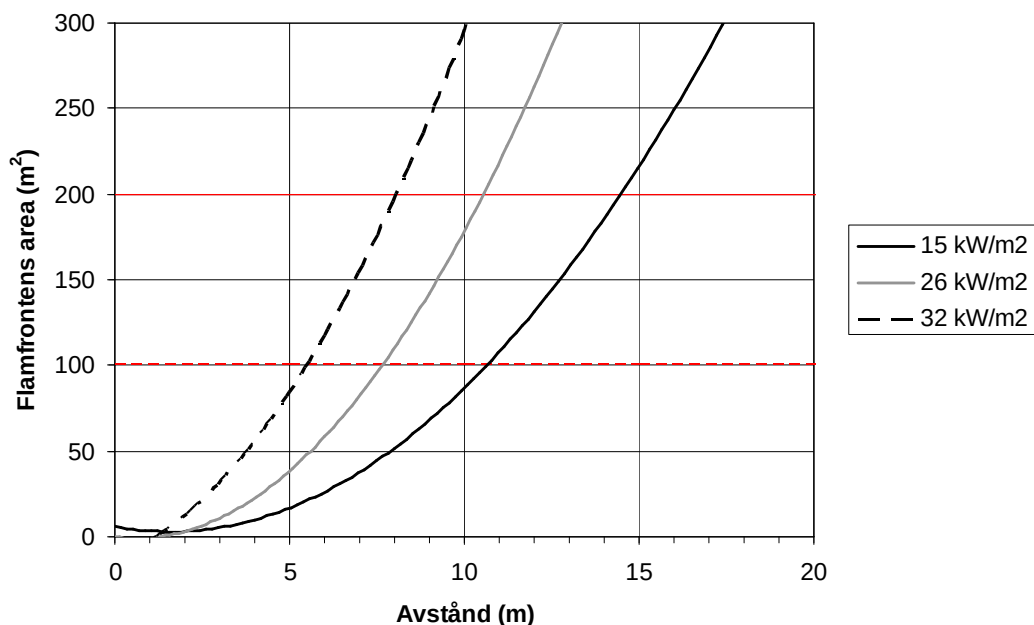
- Byggnad med brännbar fasad (t.ex. kontorsbyggnad)
- Byggnad med obrännbar fasad, d.v.s. material i lägst klass A2-s1,d0 (t.ex. processbyggnad)
- Brandtekniskt avskild byggnad, lägst klass EI 60, med ospecificerad användning

En byggnad med brännbar fasad ska ha en utformning och val av fasadmaterial enligt kraven i BBR [11], vilket styrs av byggnadens byggnadsklass. Projektering av byggnader skall alltid ske i enlighet med gällande BBR. En byggnad med obrännbar fasad förutsätts i denna rapport vara uppförd med material som lägst uppfyller A2-s1,d0.

För att kategoriseras enligt denna modell förutsätts brandbelastningen i byggnaderna understiga 800 MJ/m^2 golvarea. Brandbelastning utgör ett mått på den sammanlagda energin som frigörs vid en fullständig förbränning av allt brännbart material i brandcellen, och bestäms med metodik som beskrivs i Boverkets rapport för brandbelastning [22]. Som tumregel kan det nämnas att kontor och industrilokaler generellt innebär lägre brandbelastning än 800 MJ/m^2 . Lokaler för tillverkning/lagring av brännbart material, lager av brandfarlig vara, arkiv och dylikt medför dock generellt brandbelastning över 800 MJ/m^2 . Vid brandbelastning som överstiger 800 MJ/m^2 rekommenderas det att en separat utredning för objektet tas fram som ska redogöra för vilket minsta avstånd till närliggande objekt som är relevant där gällande förutsättningar med eventuella släcksystem, brandgasventilation, brandlarm och dylikt beaktas.

I diagrammet nedan (Figur 3) redovisas beräkningsresultat för avstånd till studerade skadekriterier som funktion av storleken på den strålade flamfronten. Intressant att notera är att förändringen i avstånd minskar, ju större flamfronten blir.





Figur 3: Avstånd till skadekriterier för värmestrålning som funktion av flamfrontens area. Flamfront med storleken 100 m² respektive 200 m² är markerade med röda linjer.

För att bestämma en rimlig storlek på flamfront för de dimensionerande scenarierna i denna utredning, så nyttjas det faktum att ett minsta avstånd på 8 m mellan byggnader anses medföra ett tillfredställande skydd mot brandspridning mellan byggnader vid förenklad dimensionering enligt BBR [11]. BBR tillåter även att ett minsta avstånd mellan byggnader bestäms analytiskt med en högst infallande värmestrålning på 15 kW/m² som acceptanskriterium. Med hjälp av ekvationer [1.1; 2.1-2.7; och 3.1] härleds det att en maximal infallande värmestrålning på 15 kW/m², mot ett objekt placerat 8 m från branden, erhålls då den strålande flamfronten är cirka 62 m² stor (baserat på en flamtemperatur på 950 °C). Detta ger en fingervisning om vilken ungefärlig storlek på flamfront som är rimlig att använda som dimensionerande vid bedömning av brandspridningsrisken mellan byggnader. Motsvarande storlek på flamfront bör även rimligtvis kunna nyttjas för ett dimensionerande brandscenario vid bedömning av brandspridningsrisken från byggnad till gasbärande anläggningsdel. Konsekvensen av brandspridning till en gasbärande anläggningsdel skiljer sig dock från konsekvensen av brandspridning till en byggnad. Vid brandspridning till en gasbärande anläggningsdel så föreligger risk för ett mer intensivt brandförlopp, men å andra sidan påverkas personsäkerheten sannolikt mer vid brandspridning till en byggnad. I beräkningarna tas viss höjd för att acceptansen för brandspridning till en gasbärande anläggningsdel är lägre än brandspridning till en byggnad. Detta görs genom att de strålande ytorna i de dimensionerande scenarierna enligt nedan är större än 62 m².

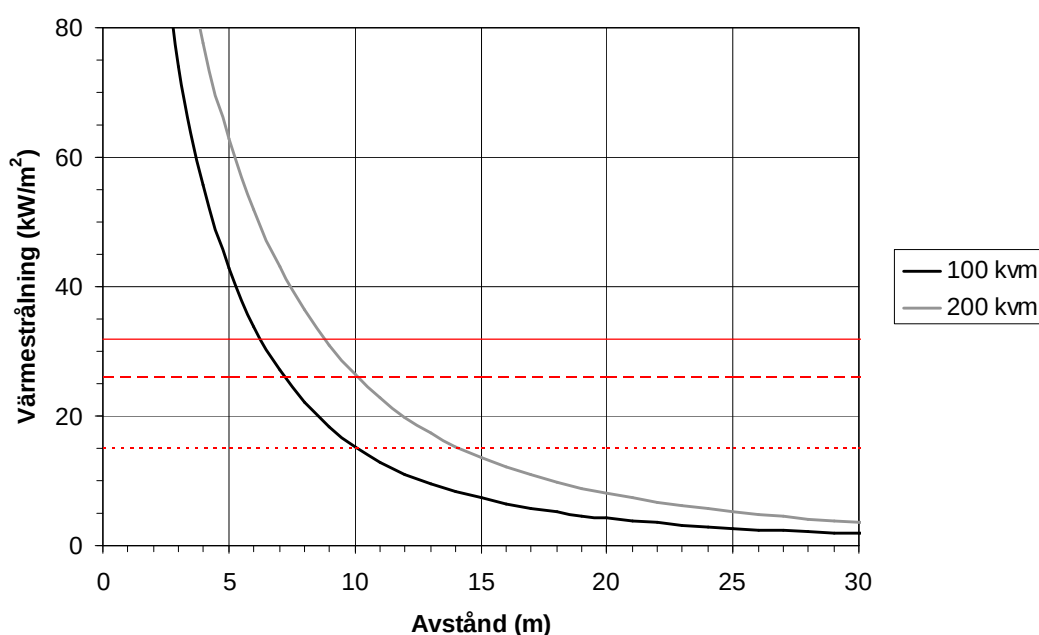
Som värsta troliga brandscenario för brand i en byggnad med brännbar fasad ansätts en strålande yta på 20 x 10 m, alltså 200 m². Detta bedöms vara ett konservativt ansatt värde, vilket speglar en brand i en stor brandcell med stora fönsterpartier och brandspridning längs fasaden. Observera att värdet, i enlighet med tidigare resonemang, motsvarar den brandhärjade arean och inte hela



byggnadsfasaden. Sett över hela brandförloppet kan brandspridning ske längs hela fasaden, men det är osannolikt att hela ytan brinner samtidigt.

Som värsta troliga brandscenario för brand i en byggnad med obrännbar fasad ansätts en strålande yta på 10 x 10 m, alltså 100 m². För byggnader med obrännbar fasad förväntas den utgående strålningen främst att ske via flammor som exponeras i och ovanför fönsteröppningar. Viss höjd har även tagits för risken att vägg- och takpartier rasar samman efter en periods omfattande brandförlopp. För byggnad som är brandtekniskt avskild från närliggande objekt genomförs inga beräkningar. I likhet med de allmänna råden i SÄIFS 2000:4, anses brandteknisk avskiljning i lägst klass EI60 medföra möjlighet att reducera avståndet.

I Figur 4 redovisas beräkningsresultat för värmestrålning som funktion av avstånd för 200 m² respektive 100 m² stor flamfront. I diagrammet är även skadekriterierna för värmestrålning mot gasbärande anläggningsdelar (26 och 32 kW/m²) markerade med röda linjer.



Figur 4: Infallande värmestrålning på olika avstånd från flamman. Skadekriterier för värmestrålning (15, 26 och 32 kW/m²) är markerade med röda linjer.

Utifrån graferna i Figur 4 erhålls minsta avstånd för att begränsa brandspridningsrisken vid brand i byggnad. Avstånden redovisas i Tabell 9.



Tabell 9: Minsta avstånd för att begränsa brandspridningsrisken vid brand i byggnad. Observera att beräkningar för infallande värmestrålning mot betongkonstruktioner ej har genomförts. Detta bedöms ej vara relevant med hänsyn till betongkonstruktioners goda motståndskraft mot infallande värmestrålning (se avsnitt 6.1.1).

Gasbärande anläggningsdel	Byggnad	
	Brännbar fasad	Obrännbar fasad (klass A2-s1,d0)
Membran (26 kW/m ²)	11 m	8 m
Stål (32 kW/m ²)	9 m	7 m
Betong (-)	-	-

6.4 Värmestrålning från brand i gasbehållare

Nedan redovisas beräkningsgång, förenklingar och antaganden som används i analysen. Hänvisningar ges till ekvationer som redovisas i sin helhet i bilaga A.

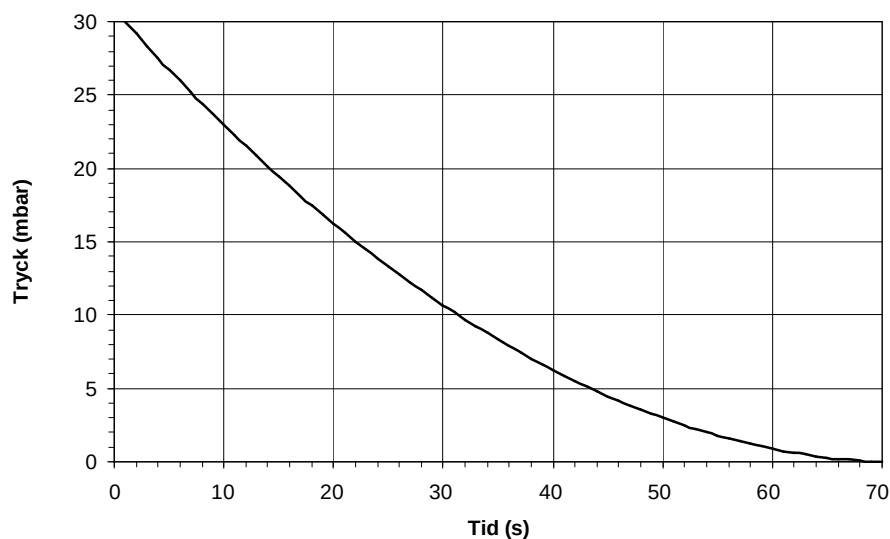
6.4.1 Brand i gasbehållare med skyddande stål- eller betongkonstruktion

Gasblandningen i toppen av behållarna ligger normalt långt över brännbarhetsområdet. Detta innebär att tillförsel av syre krävs för att brand ska kunna uppstå. Likaså krävs det energitillförsel, d.v.s. en tändkälla, vilket normalt inte tillåts förekomma i och med EX-klassningen i området runt behållarna. Ett värsta troliga brandförlopp bedöms vara att biogas som läcker från en otät omröraraxel, manlucka, trasig fläns, ventil eller dylikt antänds och ger upphov till en flamma, liknande en fackla, på toppen av behållaren.

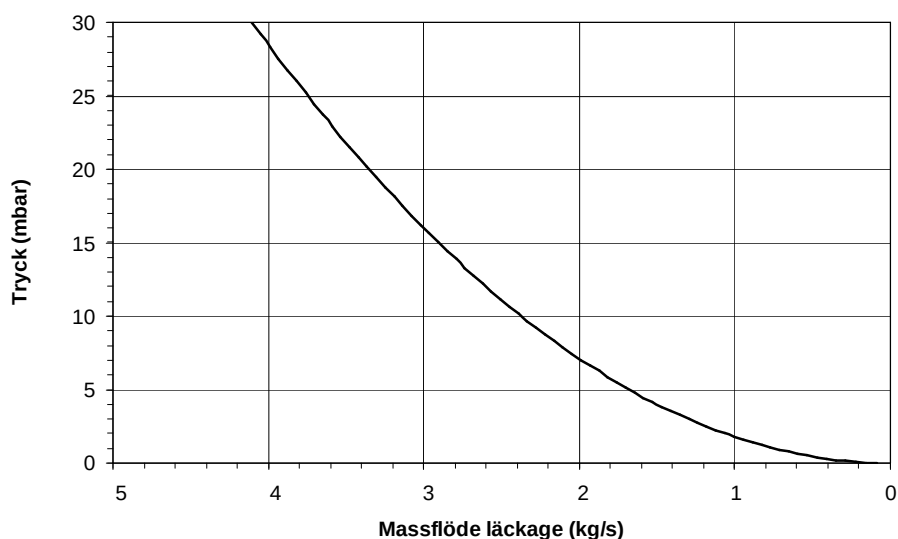
Övertrycket i en röt-kammare är förhållandevis lågt, vanligtvis 10-50 mbar [1]. Motsvarande tryck gäller i gasklockor eftersom de normalt bestämmer trycket i gassystemet mot röt-kammarna. En membrangasklocka får inte ha högre differenstryck än 50 mbar [1]. Vid ett läckage kommer massflödet till atmosfären inledningsvis att styras av tryckskillnaden. Om läckaget är omfattande kommer övertrycket i gassystemet sjunka till atmosfärstryck förhållandevis snabbt, och läckaget övergår från att styras av tryckskillnaden till att styras av densitetsskillnader. Vid ett mindre läckage kan övertrycket dock bibehållas under en längre period, i synnerhet i röt-kammarna där kontinuerlig gasproduktion sker.

I nedanstående diagram illustreras dels hur övertrycket i behållaren minskar med tiden (Figur 5) och dels hur massflödet minskar då trycket går mot atmosfärstryck (Figur 6). Graferna är baserade på beräkningar med allmänna gaslagen [ekv. 8.1] och uttryck för gasutströmning (ej kritisk strömning) ur gasbehållare [ekv. 4.1-4.2]. Redovisade värden gäller för ett läckage, med diametern 0,3 m, från en behållare med gasvolym på 5000 m³ och ett initialt övertryck på 30 mbar.





Figur 5: Tryckförändring över tid i en 5000 m³ gasbehållare med ett initialt tryck på 30 mbar och ett läckage med diametern 0,3 m



Figur 6: Förhållande mellan tryck och läckageflöde i en 5000 m³ gasbehållare med ett initialt tryck på 30 mbar och ett läckage med diametern 0,3 m

I enlighet med Figur 5 förväntas trycket ha reducerats till atmosfärstryck redan ca 70 s efter att läckaget uppstått. Liknande beräkningar har genomförts för ett antal olika läckagestorlekar (gasvolym 5000 m³ och övertryck på 30 mbar), och resultatet redovisas i Tabell 10. Observera att ingen hänsyn har tagits till eventuell gasproduktion i behållaren. Vid gasproduktion kommer trycket inte att reduceras med samma hastighet, och för mindre läckage (där massflödet ur behållaren är i nivå med gasproduktionen) är det möjligt att övertrycket bibehålls. Den huvudsakliga avsikten med beräkningarna är dock att visa att en stor läckageyta inte är förenligt med kontinuerligt stor gasutströmning (massflöde). Av resultatet framgår det exempelvis att massflödet över ett läckage med diametern 0,5 m förväntas sjunka kraftigt under de



inledande 25 sekunderna. Gasutströmningen fortsätter även efter att jämvikt har uppstått avseende tryckförhållanden, men massflödet förväntas då vara betydligt mindre.

Tabell 10: Initialt massflöde och tid till atmosfärstryck för läckage av olika storlek från en 5000 m³ gasbehållare med initialt tryck på 30 mbar.

Läckagets diameter (m)	Initialt massflöde (kg/s)	Tid till atmosfärstryck ³	
		(s)	(min)
0,05	0,1	2600	43,3
0,1	0,5	650	10,8
0,2	1,8	160	2,7
0,3	4,1	70	1,2
0,4	7,3	40	0,7
0,5	11,4	25	0,4

Storleken på flammen från gasbehållarens mantel styrs dels av läckagearean, och dels av massflödet över arean. Ett stort läckage förväntas således ge en initialt stor flamma, fast en begränsad varaktighet. Branden förväntas förvisso fortgå till dess att all gas har förbränts, men flammans storlek kommer att minska kraftigt under den inledande fasen och inte styras av det initiala massflödet.

Ett mindre läckage, med ett massflöde i nivå med gasproduktionen, förväntas ge en mindre men mer varaktig flamma. Eftersom exponeringstiden är en avgörande faktor för brandspridning via värmestrålning, så läggs fokus på att studera potentiellt varaktiga brandförlopp. Således bedöms det inte vara relevant att studera gasläckage med diameter större än 0,2 m. I Tabell 11 redovisas en sammanställning över studerade läckagestorlekar.

Även ett läckage med diametern 0,2 m är att betrakta som ett relativt osannolikt scenario, och läckagestorleken anses vara konservativt ansatt i förhållande till de scenarier som legat till grund för avstånden i SÄIFS 2000:4. Exempelvis antas det i ett av scenarierna, som legat till grund för avstånden i SÄIFS 2000:4, att en spricka uppstår på en DN50 slang, och att sprickans längd motsvarar en tredjedel av slangens omkrets [10]. Noterbart är att även ett totalt slangbrott på en DN50 slang medför en mindre läckageyta än de som ansätts i denna analys.

Tabell 11: Storlek på jetflamma för läckage av olika storlek

Läckagets diameter (m)	Initialt massflöde (kg/s)	Jetflammans initiala längd (m)	Jetflammans initiala diameter (m)
0,05	0,1	2,2	0,3
0,1	0,5	4,4	0,7
0,2	1,8	8,9	1,3
0,3	4,1	13,3	2,0
0,4	7,3	17,7	2,7
0,5	11,4	22,1	3,3

³ 101 325 N/m²

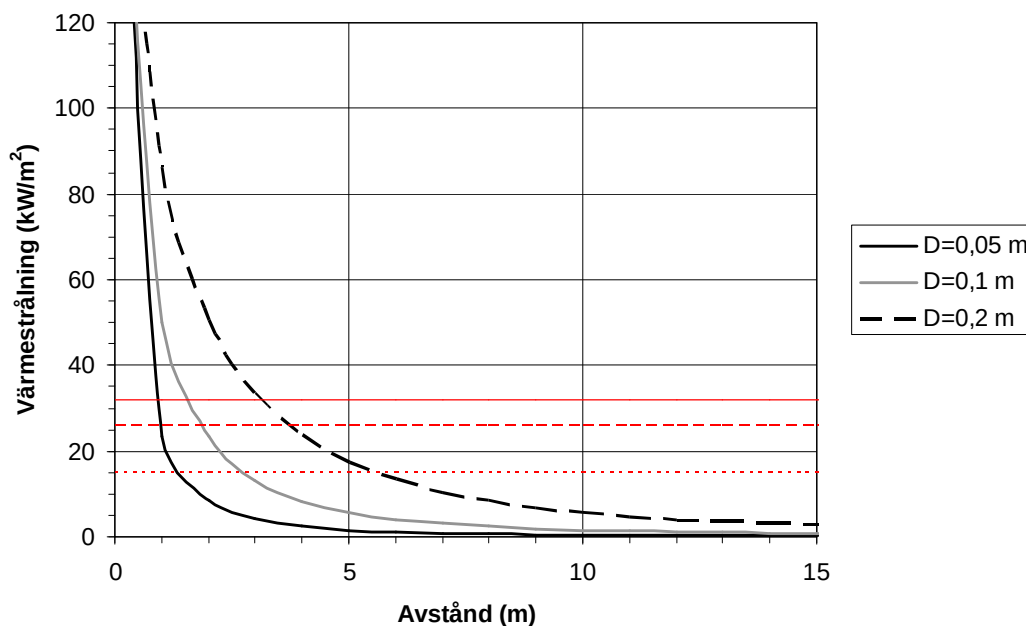


Värden i Tabell 11 är beräknade med modell för icke kritisk strömning ur gasbehållare [ekv. 4.1], kombinerat med modell för jetflamma [ekv. 5.1-5.2]. Jetflamma kan inträffa då brännbar gas strömmar ur en trycksatt behållare och bildar en brännbar blandning genom att luft sugas in i strålen. Jetflammans längd antas motsvara det avstånd från läckaget där gasblandningen antar stökiometrisk koncentration. Observera att redovisade resultat för jetflammans storlek är baserade på det initiala övertrycket, ansatt till 30 mbar, och således det initiala massflödet över läckageyta. Detta är, i enlighet med tidigare resonemang, en grov förenkling som bidrar till marginal i resultatet. I ett verkligt scenario skulle flammans storlek avta i takt med trycket i behållaren sjunker mot atmosfärstrycket.

I enlighet med tabell Tabell 11 kan jetflammans längd kortvarigt uppgå till cirka 9 m. Risken för direkt flampåverkan mot angränsande objekt bedöms dock vara begränsad eftersom läckagekänslig utrustning främst är placerad i toppen av de gasbärande anläggningsdelarna och huvudsakligen riktade uppåt.

För själva värmestrålningsberäkningarna nyttjas antagandet att jetflamman antar formen av en strålande stående cylinder. För jetflammar rekommenderas det att utgående strålningsintensitet ansätts till det dubbla värdet av utstrålningen från en icke sotande pölbrand (propan) med 1,0 m diameter. Detta innebär en utgående värmestrålning på 196 kW/m^2 [20]. Vinkelkoefficienten beräknas enligt [ekv. 2.8-2.13] till det maximala värdet för utgående strålning från centrum av en cylinder. Atmosfärens transmissionsförmåga beräknas enligt [ekv. 3.1].

I Figur 7 redovisas beräkningsresultat avseende värmestrålning som funktion av avståndet från jetflamman för olika läckagestorlekar. I figuren markeras skadekriterier för värmestrålning, 15, 26 och 32 kW/m^2 , markerats med röda linjer. Ur graferna i kan det utläsas att skadekriteriet 15 kW/m^2 inte förväntas överskridas på avstånd längre än 6 m. Detta baseras på en läckagestorlek med diametern 0,2 m, vilket även ligger till grund för rekommenderade avstånd i Tabell 12.



Figur 7: Infallande värmestrålning på olika avstånd från flaman. Skadekriterier för värmestrålning (15, 26 och 32 kW/m^2) markerade med röda linjer.



Beräknade avstånd för att begränsa brandspridningsrisken vid brand i gasbärande anläggningsdel av stål eller betong redovisas i tabellen nedan.

Tabell 12: Minsta avstånd för att begränsa brandspridningsrisken vid brand i gasbärande anläggningsdel av stål eller betong

Gasbärande anläggningsdel	Byggnad		Gasbärande anläggningsdel		
	Brännbar fasad (15 kW/m ²)	Obrännbar fasad* (15 kW/m ²)	Membran (26 kW/m ²)	Stål (32 kW/m ²)	Betong (-)
Stål	6 m	6 m	4 m	4 m	4 m
Betong (-)	6 m	6 m	4 m	4 m	-

* Lägst klass A2-s1,d0

6.4.2 Brand i gasbehållare med omslutande membranhölje

Även om membranen förutsätts vara tillverkade i flamresistent och självslocknande material så förväntas antändning kunna ske vid närvaro av en pilotlåga. Vid brand i membranhöljet till en gasklocka kommer även biogas att kunna antändas då det läcker ut genom det skadade membranet och blandas med omgivningsluften. Så länge biogasen förbränns, och utgör en pilotlåga, så kommer inte heller membranet att självslockna. Istället förväntas brandarean och hålet i membranet att utvidgas allt mer.

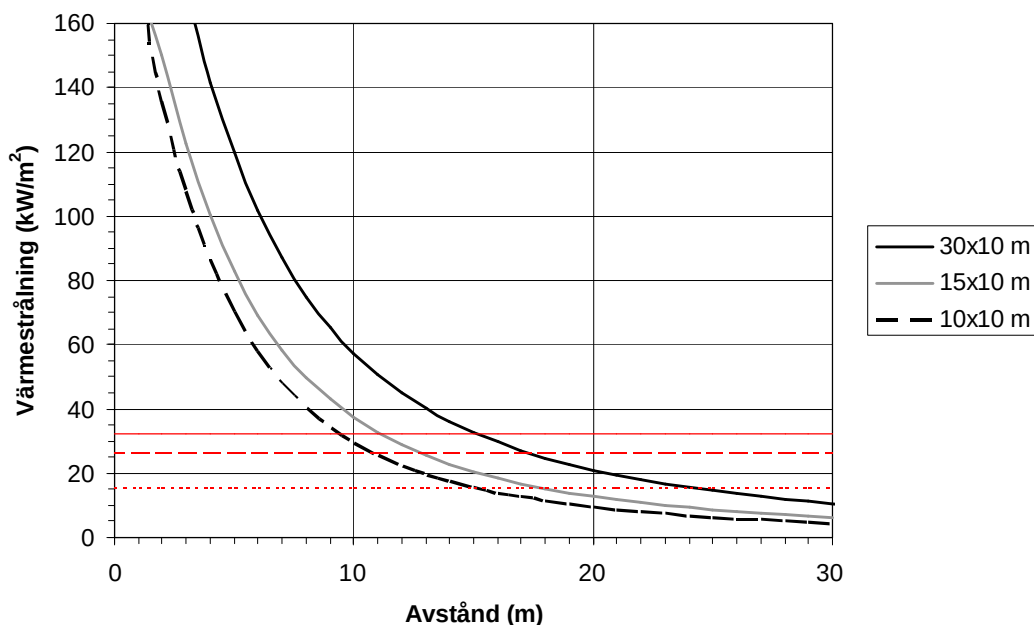
Hur brandförloppet utvecklas därefter styrs av många omständigheter och är svårt att förutspå. Inledningsvis då hålet är litet, och tryckskillnaden stor, förväntas en jetflamma stå ut från membranet. Om hålstorleken växer långsamt är det möjligt att syretillförseln till biogasblandningen (vars koncentration ligger över brännbarhetsområdet inuti kärlet) sker någorlunda kontrollerat vid hålets mynning. Brandens bas förväntas då växa i takt med hålet, samtidigt som flammans längd avtar i takt med att tryckskillnaden reduceras. Det bedöms dock finnas viss risk för plötslig syretillförsel till biogasblandningen innanför membranhöljet, vilket skulle innebära ett explosionsartat förlopp med ett brinnande gasmoln. Oavsett utveckling så förväntas brandförloppet vara förhållandevis kort. Branden förväntas avstanna när all biogas har förbränts.

Strålningsberäkningar har genomförts för tre olika stora brandförlopp med avseende på brand i membrangasklocka. De studerade brandförloppen bedöms vara mer eller mindre osannolika och den största branden redovisas huvudsakligen för jämförelse. De studerade brandförloppen är av sådan storlek att bränslet förväntas ta slut i ett tidigt skede, d.v.s. resulterande strålningsnivåer förväntas bara kunna förekomma under en kort tidsperiod.

I strålningsberäkningarna antas branden ha en cylindrisk form med diametern 30, 15 eller 10 m. Diametern på en stor membrangasklocka bedöms kunna uppgå till cirka 30 m, d.v.s. i förloppen antas det att brandspridning har skett över antingen hela, halva eller en tredjedel av klockans diameter. Flamhöjden antas för samtliga förlopp vara 10 m. Vinkelkoefficienter och infallande värmestrålning på olika avstånd från flammen beräknas i enlighet med avsnitt A.1 och A.2 i bilaga A. Flamfrontens temperatur ansätts till 1100 °C, vilket ger en utgående värmestrålning på 181 kW/m². Den högsta temperatur som har uppmätts från ett fritt brinnande bränsle är 1200 °C [18], varför det anses rimligt att medeltemperaturen i den aktuella flammen åtminstone inte överskrider 1100 °C.



Infallande värmestrålning som funktion av avståndet från flamfronten redovisas för de tre brandförloppen i Figur 8. I figuren är även skadekriterierna 15, 26 och 32 kW/m² markerade med röda linjer.



Figur 8: Infallande värmestrålning på olika avstånd från flamman. Skadekriterier för värmestrålning (15, 26 och 32 kW/m²) markerade med röda linjer.

Det anses vara mycket svårt att avgöra en värsta troliga brandstorlek vid brand i en membrangasklocka. Eftersom de minsta avstånden ska vara allmängiltiga så görs en konservativ bedömning och det dimensionerande brandscenariot ansätts till en cirkulär brand med en radie på 15 m. En brand av denna storlek medför omfattande värmestrålning, men varaktigheten till att allt bränsle har förbrukats förväntas vara kort. Genom avläsning av graf i Figur 8 erhålls följande minsta avstånd för att begränsa brandspridningsrisken vid brand i gasbärande anläggningsdel med friliggande membran. Avstånden redovisas i Tabell 13.

Tabell 13: Minsta avstånd för att begränsa brandspridningsrisken vid brand i anläggningsdel med friliggande membran

Gasbärande anläggningsdel	Byggnad		Gasbärande anläggningsdel		
	Brännbar fasad (15 kW/m ²)	Obrännbar fasad* (15 kW/m ²)	Membran (26 kW/m ²)	Stål (32 kW/m ²)	Betong (-)
Membran	18 m	18 m	13 m	11 m	-

* Lägst klass A2-s1,d0

6.4.3 Gasspridning från membranklocka

I enlighet med avsnitt 6.1 anses gasspridningsrisken endast vara relevant att detaljstudera med avseende på membranklockor. Membranklockor är generellt utförda med två membranskikt av slitstarkt och väderbeständigt material. Utrymmet mellan membranen är vanligtvis luftfyllt och används för att bibehålla ett konstant tryck i biogasutrymmet innanför det innersta membranet.



Det yttre membranet är mer exponerat mot externa påfrestningar och mekanisk åverkan än det inre membranet. Å andra sidan är möjligheterna större att upptäcka slitage och skador i ett tidigt skede på det yttre membranet. Vid hål på det yttre membranet förväntas luften läcka ut mot atmosfären och den tryckreglerande funktionen försvinna. Vid fortsatt tillförsel eller produktion av biogas kan detta leda till tryckhöjning och ett kontrollerat utsläpp av biogas via säkerhetsventil.

Det inre membranet är mer skyddat mot plötslig mekanisk påfrestning. Skulle det trots allt uppkomma ett hål i det inre membranet så föreligger risk att biogas läcker ut i luftutrymmet mellan membranerna, och därifrån vidare mot atmosfären. De membranklockor som fanns på referensanläggningarna var utförda med överloppsventil och fläkt för tryckreglering av luftutrymmet mellan membranerna. För detta utförande förväntas biogas, som har läckt till utrymmet mellan membranerna, efter en tid kunna spridas till omgivningen genom överloppsventilen.

Ett värsta scenario bedöms vara att hål uppkommer samtidigt på det inre och yttre membranet. Detta bedöms som ett relativt osannolikt scenario, vilket förutsätter omfattande mekanisk påverkan från omgivningen. Normalt slitage bedöms ej kunna orsaka ett sådant scenario. Ett annat möjligt scenario är att infästningen av membranet lossnar.

Modellen för spridningsberäkningarna (se bilaga A) tar inte i sig hänsyn till huruvida utsläppet sker via ett direkt hål i mantelytan, via en överloppsventil eller annan utrustning. Källmodellen som används [ekv. 4.1] tar hänsyn till massflödet i utsläppet, vilket i sin tur styrs av tryckskillnaden och hålets area. Eftersom läckagearean är en avgörande faktor för gasspridningsscenariot, varierar storleken i beräkningarna. I praktiken är det diametern som varierar, eftersom läckagearean antas ha en cirkulär form. Detta är ett konservativt antagande, då det med tanke på materialegenskaperna hos vävförstärkt PVC snarare är sannolikt med en avlång reva (med en mindre öppningsarea) än ett cirkulärt hål.

I Tabell 14 redovisas beräknade initiala massflöden för läckage med varierad diameter. Här används samma källmodell och läckagestorlekar som användes i föregående avsnitt 6.4.1 för beräkning av värmestrålning från jetflammar. I likhet med resonemang i avsnitt 5.4.1 så korresponderar angivna värden för massflöde med den initiala tryckskillnaden mellan gasutrymmet och omgivningen. Vid ett stort läckage kommer tryckskillnaden att utjämnas i ett tidigt skede.

Tabell 14: Initialt massflöde för läckage av olika storlek från en membranklocka med initialt tryck på 30 mbar.

Läckagets diameter (m)	Initialt massflöde (kg/s)
0,05	0,1
0,1	0,5
0,2	1,8
0,3	4,1
0,4	7,3
0,5	11,4

Ett hål i med diametern 0,5 m bedöms vara ett möjligt scenario, men med tanke på att utjämning av den initiala tryckskillnaden förväntas ske förhållandevis tidigt så anses det inte relevant att studera konsekvenserna. Tillgängliga modeller för spridningsberäkningar bygger på uppkomsten av ett jämviktsförhållande (steady state)



mellan utsläppet och omgivningen och förutsätter därför ett kontinuerligt läckage med ett konstant massflöde. För stora läckage förväntas jämviktsförhållanden, avseende koncentrationen biogas i omgivningen, inte uppkomma under den inledande fasen med omfattande tryckutjämning och därför är det inte heller relevant att använda de korresponderande initiala massflödena i beräkningarna. I fortsättningen av detta avsnitt kommer således den största läckagestorleken ansättas som ett cirkulärt hål med diametern 0,2 m. Källstyrkan antas vara kontinuerlig och motsvara det initiala massflödet.

För spridningsberäkningarna används modell för fri cirkulär jet i medvind [ekv. 6.1], och avstånd beräknas till nedre brännbarhetsgränsen för biogasblandningen (7 vol%). Gasblandningen förutsätts innehålla 65 % metangas samt resterande mängd koldioxid. Det medför att gasens egenskaper skiljer sig från ren metangas. Gasblandningen har en högre densitet än ren metangas vilket påverkar källflödet från ett utsläpp samt reducerar energiinnehållet i gasen i jämförelse med ren metangas. Brännbarhetsgränserna skiljer sig även mellan gasblandningen och ren metangas. Vindhastigheten ansätts till 5 m/s i beräkningarna med jetmodell. Årsmedelvärdet för vindhastigheten Sverige ligger typisk i intervallet 4,5-6 m/s [21].

När hastighetsöverskottet i jetstrålen blir tillräckligt litet kommer vind och atmosfärsturbulens att ta över som luftinblandningsmekanism. Därefter sker eventuell gasspridning istället enligt atmosfärisk spridningsmodell, där vind och stabilitetsklass är avgörande faktorer. Övergången från jet till atmosfärsspridning är diffus och för brandfarliga substanser rekommenderas det att utelämna övergång till atmosfärisk spridningsmodell om gränskoncentrationen för jetmodellen är lägre än dubbla koncentrationen vid nedre brännbarhetsgränsen [ekv. 6.2-6.4]. Detta villkor uppfylls för de beräkningarna i denna analys och följaktligen utelämnas övergång till atmosfärisk spridningsmodell.

Spridningsberäkningar medför stora osäkerheter med avseende på beräkningsmodell och val av indata. I enlighet med ovan så bedöms det inte vara tillämpligt med övergång till atmosfärisk spridningsmodell i slutet av jetstrålen. När läckaget har fått fortgå under en viss tid, och tryckskillnaden har reducerats kraftigt, då kan det dock vara aktuellt med atmosfärisk spridningsmodell med början vid läckaget. I detta fall uppkommer alltså ingen jetstråle eftersom den låga tryckskillnaden inte skapar tillräckligt hastighetsöverskott. Beräkningar för atmosfärsspridning, med början vid läckagepunkten, har följaktligen genomförts för jämförelse med jetmodellen. För atmosfärsspridningsberäkningarna används modell för passiv spridning från kontinuerligt utsläpp (gaussisk spridning) [ekv. 7.1-7.6]. Vindhastigheten har förhållandevis stor inverkan på beräkningsresultatet för atmosfärsspridning och därför ansätts vindhastigheten dels till 5 m/s och dels till 10 m/s i beräkningarna. Atmosfärens stabilitet antas vara klass D. Observera att även om jetmodellen tar hänsyn till vindhastighet, så är den inte lika känslig för förändringar i vindhastighet som atmosfärsspridningsmodellen.

Beräkningsresultatet för spridningsberäkningar med modell för fri cirkulär jet i medvind, respektive passiv atmosfärsspridning, redovisas i nedanstående Tabell 15.



Tabell 15: Avstånd till nedre brännbarhetsgränsen (7 vol%) för läckage av olika storlek

Läckagets diameter (m)	Avstånd till nedre brännbarhetsgräns (m)		
	Jetmodell	Atmosfärsspridning vid 10 m/s vind	Atmosfärsspridning vid 5 m/s vind
0,05	4 m	2 m	3 m
0,1	7 m	4 m	5 m
0,2	14 m	7 m	9 m
0,3	21 m	10 m	13 m
0,4	27 m	13 m	18 m
0,5	34 m	16 m	25 m

I enlighet med resultat i Tabell 16 så ger beräkning med jetmodell något längre konsekvensavstånd jämfört med atmosfärsspridning för aktuella scenarier.

Tabell 16: Minsta avstånd avseende gasspridningsscenario från anläggningsdel med friliggande membran

Gasbärande anläggningsdel	Byggnad		Gasbärande anläggningsdel		
	Brännbar fasad	Obrännbar fasad*	Membran	Stål	Betong
Membran	14 m	-	14 m	-	-

* Lägst klass A2-s1,d0



6.5 Sammanställning av beräkningsresultat

I Tabell 17 och Tabell 18 redovisas en sammanställning av de beräknade minsta avstånden för studerade scenarier.

Tabell 17: Sammanställning av beräkningsresultat för värmestrålningsberäkningar

Värmestrålning		Skadekriterium	Beräknat minsta avstånd (m)
Källa	Mottagare		
Byggnad - Brännbar fasad	Gasbehållare - Membran	26 kW/m ²	11 m
	Gasbehållare - Stålkonstruktion	32 kW/m ²	9 m
	Gasbehållare - Betongkonstruktion	-	-
Byggnad - Obrännbar fasad **	Gasbehållare - Membran	26 kW/m ²	8 m
	Gasbehållare - Stålkonstruktion	32 kW/m ²	7 m
	Gasbehållare - Betongkonstruktion	-	-
Byggnad-Brandklass EI60	Gasbehållare - Membran	-	*
	Gasbehållare - Stålkonstruktion	-	*
	Gasbehållare - Betongkonstruktion	-	*
Gasbehållare - Stål- eller betong	Byggnad - Brännbar fasad	15 kW/m ²	6 m
	Byggnad - Obrännbar fasad **	15 kW/m ²	6 m
	Byggnad - Brandklass EI60	-	*
	Gasbehållare - Membran	26 kW/m ²	4 m
	Gasbehållare - Stålkonstruktion	32 kW/m ²	4 m
	Gasbehållare - Betongkonstruktion	-	-
Gasbehållare - Membran	Byggnad - Brännbar fasad	15 kW/m ²	18 m
	Byggnad - Obrännbar fasad **	15 kW/m ²	18 m
	Byggnad - Brandklass EI60	-	*
	Gasbehållare - Membran	26 kW/m ²	13 m
	Gasbehållare - Stålkonstruktion	32 kW/m ²	11 m
	Gasbehållare - Betongkonstruktion	-	-

* Minsta avstånd bestäms schablonmässigt utifrån övriga resultat

** Lägst klass A2-s1,d0

Tabell 18: Sammanställning av beräkningsresultat för gasspridningsberäkningar

Gasspridning		Skadekriterium	Beräknat minsta avstånd till LEL (m)
Källa	Mottagare		
Gasbehållare - Membran	Byggnad - Brännbar fasad	7 vol%	14 m
	Byggnad - Obrännbar fasad **	-	*
	Byggnad - Brandklass EI60	-	*
	Gasbehållare - Membran	7 vol%	14 m
	Gasbehållare - Stålkonstruktion	-	*
	Gasbehållare - Betongkonstruktion	-	*

* Gasspridning beaktas endast för byggnader och gasbehållare med brännbar beklädnad

** Lägst klass A2-s1,d0



I ovanstående tabeller tas ingen hänsyn till det faktum att risken för brandspridning mellan två objekt är beroende på vilket av objekten som är brandhärjat. Behovet av avstånd är inte nödvändigtvis enhetligt i bägge riktningarna. Vid bedömning av lämpliga avstånd mellan anläggningsdelar, eller mellan anläggningsdel och byggnad, är det naturligt att det längsta avståndet är dimensionerande.

Utifrån beräkningsresultatet kan avstånd (minsta avstånd) i Tabell 19 tillämpas för betryggande placering av anläggningsdelar.

Tabell 19: Beräknade minsta avstånd för betryggande placering

Gasbehållare (ex. rötkammare, gasklocka, blandningstank, rötrestlager)	Byggnad			Annan Gasbehållare		
	Brännbar fasad	Obrännbar fasad **	EI 60-avskiljning	Membran	Stål	Betong
Membran	18 m	18 m	*	14 m	11 m	4 m
Stål	9 m	7 m	*	11 m	4 m	4 m
Betong	6 m	6 m	*	4 m	4 m	*

* Minsta avstånd bestäms schablonmässigt utifrån övriga resultat

** Lägst klass A2-s1,d0



7 Rekommenderade minsta avstånd

I Tabell 20 redovisas de av författarna rekommenderade minsta avstånden till byggnader och mellan gasbärande anläggningsdelar. Baserat på underlaget i denna rapport samtycker MSB till att de redovisade minsta avstånden, med angivna förutsättningar, medför att krav på betryggande placering i *Lag (SFS 2010:1011) om brandfarliga och explosiva varor* uppfylls.

Avstånden är baserade på beräkningar redovisade i kapitel 5, och för gasbärande anläggningsdelar har hänsyn tagits till utförandet av den gashållande och skyddande konstruktionen. Observera att kategoriseringen avser det material som medför det huvudsakliga skyddet av gasen mot påverkan från omgivningen (mekanisk, termisk eller annan påverkan).

Tabell 20: Rekommenderade minsta avstånd inom produktionsanläggning för betryggande placering

Gasbehållare ¹ (ex. rötkammare, gasklocka, blandningstank, rötrestlager)	Byggnad (inom produktionsanläggning) ²			Annan Gasbehållare		
	Brännbar fasad ³	Obrännbar fasad ⁴	EI 60-avskiljning ⁵	Membran	Stål	Betong
Membran	18 m	18 m	9 m	14 m	11 m	4 m
Stål	9 m	7 m	4 m	11 m	4 m	4 m
Betong	6 m	6 m	3 m	4 m	4 m	2 m

¹ Med gasbehållare avses kärl som lagrar/innehåller gas i produktionssteget

² Avser byggnad inom produktionsanläggningen, där personer kan förväntas känna till riskerna med hanteringen av den brandfarlig gas.

³ Fasad skall uppfylla krav i Boverkets Byggregler för respektive byggnadsklass

⁴ Material i lägst klass A2-s1,d0 (inkl. dörrar). Oskyddade fönster, ventilationsöppningar och andra öppningar tillåts ej i fasad mot riskkällan.

⁵ Byggnad med brandklassad fasad i klass EI60 (detta gäller fasad mot riskkällan), samt obrännbar taktäckning klass A2-s1,d0 eller taktäckning i lägst klass B_{ROOF} (t2) på obrännbart underlag.

Resultatet förutsätter att:

- Anläggningen byggs, kontrolleras och drivs enligt gällande Biogasanvisningar (BGA) från Energigas Sverige (undantaget anvisningar om minsta avstånd som strider mot resultatet i denna rapport). Vid utförande enligt tidigare utgåvor av Biogasanvisningarna ska det verifieras att skillnaderna inte påverkar slutsatserna i denna rapport.
- Byggnader inom anläggningen följer Boverkets byggregler BBR [11]
- Byggnader inom anläggningen har direkt anknytning till verksamheten (d.v.s. produktion av biogas)
- Brandbelastningen inom beaktade byggnader är lägre än 800 MJ/m² golvarea

Notera även förklaringstexten till tabellen som avser att förtydliga relevanta förutsättningar så att några av de frågetecken och osäkerheter som beskrivs i kapitel 6 kan undvikas.

I likhet med befintliga anvisningar för minsta avstånd så anses det vara tillämpligt med en halvering av avstånd ifall brandteknisk avskiljning i lägst klass EI60 upprättas. Utförande med brandteknisk avskiljning är således speciellt gynnsamt för effektivt markanvändande och reducering av förluster inom processen. Observera att denna reducering av avstånd ej har varit föremål för beräkningsanalys.



8 Diskussion

De rekommenderade minsta avstånden i Tabell 20 är generellt kortare än de avstånd som anges i BGA 2012 [1]. Detta gäller exempelvis minsta avstånd mellan torra gasklockor och byggnader inom anläggningen. En annan skillnad är att byggnad med obrännbar fasad införs i tabellen, och generellt anses det vara tillämpligt med kortare avstånd mellan anläggningsdel och byggnad.

Till skillnad från befintliga anvisningar så anses avstånden i Tabell 20 även vara direkt tillämpliga för rötkammare, rötrestlager, blandningstankar och dylikt. Detta kan till viss del betraktas som en mer restriktiv hållning i jämförelse med befintliga anvisningar, då det historiskt sett inte nödvändigtvis har ställts krav på ett minsta avstånd kring exempelvis rötkammare. Det är dock författarnas uppfattning att rötkammare, rötrestlager, blandningstankar och dylikt i många avseenden delar samma riskproblematisering som gasklockor. Ambitionen har även varit att bidra till ett tydligare förhållningssätt gällande minsta avstånd kring dessa anläggningsdelar.

Bedömning av risk och acceptabel risk innehåller onekligen subjektiva inslag och osäkerheter. I analysen uppkommer osäkerheter relaterade till val av scenarier, beräkningsmodeller, förenklingar, antaganden och indata. Generellt har konservativa värden på osäkra indata använts, vilket medför att höjd tagits för osäkerheter. Det är trots detta viktigt att poängtera att resultat och slutsatser som redovisas i denna rapport onekligen speglar författarnas subjektiva bedömningar, i synnerhet gällande val av olycksscenarier som anses utgöra s.k. värsta troliga scenarier. Vid tolkning och användande av resultatet bör förutsättningar, tolkningar och resultat kombineras med specifik kännedom och kunskap av biogasanläggningar.

Eftersom rekommendationer för minsta avstånd ska vara tillämpliga och allmängiltiga för många olika typer av anläggningar och utföranden, har det genomgående varit nödvändigt att göra grova bedömningar i beräkningsanalysen. Känslighetsanalys har utförts i respektive beräkningsavsnitt genom att de ingående dimensionerande parametrarna beräknats och bedömts med variation och intervall för att erhålla en god inblick i hur valet av de dimensionerande scenarierna påverkar resultatet. Ett vanligt tillvägagångssätt för att hantera inneboende osäkerheter i beräkningsanalyser är att genomföra beräkningar för ett specifikt fall med kända förutsättningar varpå en säkerhetsfaktor påförs på beräkningsresultat för att inrymma ytterligare säkerhet. Författarna bedömer att det ej är rimligt att ytterligare påföra någon säkerhetsfaktor utöver den konservatism som använts i val av dimensionerande scenarier, bedömningar och beräkningsantaganden som legat till grund för resultatet i denna utredning.

Inom en anläggning kan det finnas förutsättningar som innebär att kortare eller längre avstånd än vad som anges i Tabell 20 är tillämpligt för att erhålla en betryggande placering. I enlighet med SÄIFS 2000:4 [2] kan ett minsta avstånd bestämmas genom en riskutredning som tar hänsyn till specifika förutsättningar inom anläggningen. Exempelvis har inte isolering av de gasbärande anläggningsdelarna beaktats i detalj i denna analys. Med detaljerad kunskap om det lokala utförandet kan det vara möjligt att genomföra detaljerade värmegångsberäkningar och på så sätt utreda effekten av isolering och dylikt på avståndsbehovet. Likaså finns det sannolikt byggnadsutföranden som efter utredning kan placeras närmre gasbärande anläggningsdelar än vad som föreskrivs av de allmängiltiga rekommendationerna i denna utredning. I många fall är det även fortsättningsvis viktigt att göra anläggningsspecifika riskutredningar. I denna typ av generella analys går det



onekligen inte att ta hänsyn till specifika detaljer, eftersom syftet inte är att detaljstyra anläggningsutförandet utan snarare att ge riktlinjer i arbetet.



9 Referenser

1. *Anvisningar för biogasanläggningar, BGA 2012*. Energigas Sverige, 2012 (www.energigas.se)
2. *Sprängämnesinspektionens föreskrifter (SÄIFS 2000:4) om cisterner, gasklockor, bergtrum och rörledningar för brandfarlig gas*. Sprängämnesinspektionen, 2000
3. SFPE, 2002. *The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, The National Fire Protection Association, Quincy, MA, CY, 2002
4. *SEK Handbok 426 - Klassning av explosionsfarliga områden - Områden med explosiv gasatmosfär (utgåva 4)*. SEK Svensk Elstandard, 2011
5. *Rapporter om olyckor och incidenter, Sammanfattning av incidenter och olyckor med energigaser i Sverige under år 2000-2011*. Energigas Sverige, 2000-2012
6. *Lagen (2010:1011) om brandfarliga och explosiva varor*
7. Gårsjö D. Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap, Enheten för brandskydd och brandfarlig vara. Karlstad, Samtal 2012-03-22
8. *Biogasanvisningar BGA05*. Svenska Gasföreningen, 2005
9. Graveus F., Vinberg D., *Utlåtande gällande spridning av biogas avseende gasklocka med gummimembran*. Grontmij AB, Brand&Risk, Malmö, 2011
10. Claesson A. *Tolkning av begreppet betryggande i lagstiftning om brandfarliga och explosiva varor med fokus på betryggande avstånd*. Avdelningen för brandteknik och riskhantering, Lunds Tekniska Högskola (LTH), 2011
11. *Boverkets byggregler, BBR 19, BFS 2011:26, Kapitel 5: Brandskydd*. Boverket, 2011
12. Burström P.G., *Byggnadsmaterial : uppbyggnad, tillverkning och egenskaper*. Lund: Studentlitteratur, 2007
13. *DIN 4102 Fire Behaviour of Building Materials and Building Components*. Deutsches Institut für Normung
14. *Produktdatablad: 964 POLYPLAN BIOGAS TYPE III FR*. Sattler, Graz, 2011
15. Persson B., Persson H. *Påverkan från värmestrålning vid brand i cisternlager – Brandforsk Projekt 612-923*. Sveriges Provnings- och forskningsinstitut (SP), 1996
16. *Brandskydd i oljedepå – Rekommendation*. Räddningsverket (SRV). Karlstad, 2000
17. *Boverkets allmänna råd om analytisk dimensionering av byggnaders brandskydd, BFS 2011:27, BBRAD1*. Boverket, 2011
18. *Brandskyddshandboken - En handbok för projektering av brandskydd i byggnader*. Brandskyddslaget och LTH – Brandteknik. Lund, 2005
19. *SS-EN 1991-1-2, Eurokod 1: Laster på bärverk - Del 1-2: Allmänna laster - Termisk och mekanisk verkan av brand*. Svensk Standard, 1991



20. Fischer, S. *Våda utsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor*.
Försvarets forskningsanstalt (FOA), Umeå, 1997
21. Klimatkarta som illustrerar vindenergiförhållanden för den av WMO definierade
normalperioden 1961-1990. Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut
(SMHI), [http://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/vind/normala-
vindenergiforhallanden-1.4078](http://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/vind/normala-vindenergiforhallanden-1.4078) (besökt 2012-05-20)
22. *Brandbelastning, Handbok om brandbelastning*, Boverket, Karlskrona, 2008.



A. Beräkningsbilaga

A.1 Infallande värmestrålning från brand

Infallande värmestrålning beräknas med följande ekvation [20]:

$$P_{12} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \cdot F_{12} \cdot \tau_a \quad [1.1]$$

där:

P_{12} = Infallande strålning från flamma till mottagaren (W/m²)

ε = emittansen (-)

σ = Stefan-Boltzmanns konstant; $5,67 \times 10^{-8}$ (-)

T = Temperaturen på den strålande ytan (K)

F_{12} = Vinkelkoefficient (synfaktor) för flammen till mottagaren (-)

τ_a = atmosfäriska transmissionsförmågan (-)

I beräkningarna för brand i byggnad ansätts emittansen till 0,9 och temperaturen på de strålande flammorna till 950 °C (1223 K). För gasbrand ansätts emittansen till 0,9 och flamtemperaturen till 1100 °C (1373 K). För jetflammar ansätts värden i enlighet med avsnitt A.5.

Vinkelkoefficienter och atmosfärisk transmissionsförmåga beräknas enligt avsnitt A.2 respektive A.3.

A.2 Vinkelkoefficienter

Vinkelkoefficienten är en geometrisk faktor som definierar andelen utgående strålning som träffar en annan yta. Den maximala vinkelkoefficienten beräknas med följande uttryck:

$$F_{12} = F_{\max} = \sqrt{F_h^2 + F_v^2} \quad [2.1]$$

För bränder i byggnader antas den strålande ytan anta en plan och rektangulär form. För en plant strålande yta beräknas vinkelkoefficienten med följande uttryck:

$$F_h = \frac{1}{2\pi} \left[\tan^{-1} \left(\frac{1}{x_r} \right) - A x_r \tan^{-1} A \right] \quad [2.2]$$

$$F_v = \frac{1}{2\pi} \left[h_r A \tan^{-1} A + \left(\frac{B}{h_r} \right) \tan^{-1} B \right] \quad [2.3]$$

$$A = \frac{1}{\sqrt{h_r^2 + x_r^2}} \quad [2.4]$$

$$B = \frac{h_r}{\sqrt{10x_r^2}} \quad [2.5]$$



$$h_r = h / b \quad [2.6]$$

$$x_r = x / b \quad [2.7]$$

där:

h = höjden på den strålande ytan (m)

b = bredden på den strålande ytan (m)

x = avståndet mellan den strålande ytan och mottagaren (m)

I beräkningarna har den strålande ytan delats in i fyra lika stora delar, för vilka den maximala vinkelkoefficienten beräknats. Därefter har dessa summerats för att erhålla den totala vinkelkoefficienten mot ett objekt beläget i nivå med centrum av den strålande rektangulära ytan.

För bränder i utströmmande gas antas den strålande ytan anta formen av en cylinder. För en strålande cylinder beräknas vinkelkoefficienten med följande uttryck:

$$F_h = \frac{1}{\pi} \left[\tan^{-1} \sqrt{\frac{x_r + 1}{x_r - 1}} - \frac{x_r^2 - 1 + h_r^2}{\sqrt{AB}} \tan^{-1} \sqrt{\frac{(x_r - 1)A}{(x_r + 1)B}} \right] \quad [2.8]$$

$$F_v = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{x_r} \tan^{-1} \left(\frac{h_r}{\sqrt{x_r^2 - 1}} \right) + \frac{h_r (A - 2x_r)}{x_r \sqrt{AB}} \tan^{-1} \sqrt{\frac{(x_r - 1)A}{(x_r + 1)B}} - \frac{h_r}{x_r} \tan^{-1} \sqrt{\frac{x_r - 1}{x_r + 1}} \right] \quad [2.9]$$

$$A = (x_r + 1)^2 + h_r^2 \quad [2.10]$$

$$B = (x_r - 1)^2 + h_r^2 \quad [2.11]$$

$$h_r = h / r \quad [2.12]$$

$$x_r = x / r \quad [2.13]$$

där:

h = höjden på den strålande cylindern (m)

r = radien på den strålande cylindern (m)

x = avståndet mellan den strålande cylindern och mottagaren (m)

I beräkningarna har den strålande cylindern delats in i två halvor med lika höjd. Den maximala vinkelkoefficienten har beräknats för respektive cylinderhalva, och därefter har dessa summerats för att erhålla den totala vinkelkoefficienten mot ett objekt beläget i nivå med centrum av den strålande cylindern.



A.3 Atmosfärisk transmissionsförmåga

Den atmosfäriska transmissionsförmågan, τ_a , erhålls med uttrycket:

$$\tau_a = 1 - \alpha_w - \alpha_c \quad [3.1]$$

där:

α_w = absorptionsfaktorn för vattenånga (-)

α_c = absorptionsfaktorn för koldioxid (-)

Värden på absorptionsfaktorerna erhålls från diagram i [20].

A.4 Källmodell gasutströmning

Källstyrkan och dragkraften för icke kritisk gasutströmning beräknas med följande uttryck [20]:

$$Q = 2,94 \cdot C_d \cdot A \frac{P_a}{\sqrt{R \cdot T_0}} \cdot \left(\frac{P_0}{P_a} \right)^{0,231} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{P_a}{P_0} \right)^{0,231}} \quad [4.1]$$

$$F = 8,67 \cdot C_d \cdot A \cdot P_a \left[\left(\frac{P_0}{P_a} \right)^{0,231} - 1 \right] \quad [4.2]$$

där:

C_d = Kontraktionsfaktor (-)

A = Hålets area (m²)

P_a = Atmosfärstryck (101235 Pa)

P_0 = Tryck behållare (Pa)

T_0 = Temperatur i behållare (K)

R = Gaskonstant, (322 J/kgK)

Beräkningarna har genomgående baserats på processtrycket 30 mbar och processtemperaturen 40 °C (313 K). Trycket i rötchammare och gasklockor ligger normalt i intervallet 10-50 mbar [1]. På de tre referensanläggningarna har det maximala trycket legat under 30 mbar. Temperaturen i rötningsprocessen avpassas vanligtvis till 35-50 °C [1].

Gaskonstanten har anpassats för att ta hänsyn till biogasens förväntade sammansättning. Gaskonstanten har beräknats till 322 J/kgK, vilket motsvarar biogas med 65 vol% metan och molmassan 25,8 kg/kmol.

Kontraktionsfaktorn för läckagen har genomgående ansatts till 0,75 i beräkningarna.



A.5 Jetflamma (fri cirkulär jet i stagnant medium)

Storleken på en jetflamma styrs av källstyrkan, Q (kg/s) och dragkraften F (N) i jetstrålen. Dessa bestäms i enlighet med avsnitt xx. Jetflammans längd, L_f (m), och diameter, d_f (m), bestäms genom att beräkna avståndet till stökiometrisk koncentration med följande ekvationer [20]:

$$L_f = \frac{5,95 \cdot Q}{\sqrt{\rho_a \cdot F}} \cdot \frac{1}{Y_{stök}} \quad [5.1]$$

$$d_f = 0,15 \cdot L_f \quad [5.2]$$

där:

$Y_{stök}$ = stökiometrisk koncentration för metangas (0.094 kg/kg)⁴

ρ_a = luft densitet (1.2 kg/m³)

Q = källstyrka (kg/s)

F = dragkraften (N) i jetstrålen

Värmestrålningen per ytenhet från jetflamman jämföras med den dubbla strålningen per ytenhet från flammen i en icke sotande pölbrand (propan) med diametern 1m. Strålningen per ytenhet beräknas enligt följande, där fysikalisk data för propan är hämtad från [20]:

$$P = \frac{0,35 \cdot b' \cdot h_c}{1 + 4h_f / d_f} \quad [5.3]$$

b' = Förbränningshastighet per ytenhet = 0,13 kg/m²s

h_c = Energivärde = 46,5 MJ/kg

d_f = Diameter = 1 m

h_f = Flamhöjd (1m diameter)= 5,16m

Strålningen per ytenhet blir enligt ovan 98 kW/m². Eftersom formlerna ovan inte egentligen är avsedda för jetflamnor så skall värdet dubbleras enligt FOA handboken [20]. Strålningen från flammorna blir då cirka 196 kW/m².

A.6 Spridningsberäkning jetmodell (fri cirkulär jet i medvind)

För spridningsberäkningar används modell för fri cirkulär jet i medvind. Källmodellen i avsnitt xx används för att bestämma källstyrkan, Q (kg/s) och dragkraften F (N) i jetstrålen.

Beräkningarna genomförs för att bestämma avståndet till nedre brännbarhetsgränsen längs jetstrålens centrumlinje. Beräkningarna genomförs för biogas innehållande 65% metan. Avståndet (x) till nedre brännbarhetsgränsen (Y_2) beräknas med följande uttryck [20]:

⁴ Baserat på stökiometrisk koncentration för metangas vid 0.095 volymandelar, enligt [20].



$$x = \frac{5,95 \cdot Q}{\sqrt{\rho_a \cdot (F - Q \cdot u_w)}} \cdot \frac{1}{Y_2} \quad [6.1]$$

där:

x = avstånd (m)

Y_2 = nedre brännbarhetsgränsen för biogas med 65 % metan (0,063 kg/kg⁵)

ρ_a = luft densitet (1,2 kg/m³)

Q = källstyrka (kg/s)

F = dragkraften (N) i jetstrålen

u_w = vindhastighet (5 m/s)

Vindhastigheten ansätts till 5 m/s i beräkningarna. Årsmedelvärdet för vindhastigheten i södra Sverige ligger typisk i intervallet 4,5-6 m/s [21].

Jetmodellen är giltig fram till avståndet x_{tr} där hastighetsöverskottet har nått ner till en fraktion av vindhastigheten.

$$x_{rt} = 16 \cdot \frac{\sqrt{F - Q \cdot u_w}}{u_w \cdot \sqrt{\rho_a}} \quad [6.2]$$

Gränskoncentrationen $Y_c(x_{tr})$ längs jetstrålens centrumlinje vid avståndet x_{tr} beräknas enligt följande:

$$Y_c(x_{tr}) = 0,37 \cdot \frac{Q \cdot u_w}{F - Q \cdot u_w} \quad [6.3]$$

För brandfarliga substanser rekommenderas att utelämna övergång till atmosfärisk spridningsmodell om gränskoncentrationen $Y_c(x_{tr})$ är lägre än dubbla koncentrationen vid nedre brännbarhetsgränsen Y_2 , dvs om följande villkor uppfylls:

$$Y_c(x_{tr}) < 2Y_2 \quad [6.4]$$

A.7 Spridningsberäkning atmosfärsspridning

För atmosfäriska spridningsberäkningar används gaussisk modell för passiv spridning från kontinuerligt utsläpp [20]. Källmodellen i avsnitt xx används för att bestämma källstyrkan, Q (kg/s). Vindhastigheten varierar mellan 5 och 10 m/s och atmosfärens stabilitet antas vara klass D. Beräkningarna avser koncentrationen längs en horisontell axel på samma höjd som läckaget.

Värden för den initiala utspädningsprocessen bestäms med följande ekvationer:

$x = 0$ sätts i källpunkten (dvs den atmosfäriska spridningen antas börja vid läckagepunkten).

$$\sigma_{y0} = \sigma_{z0} = 0,6 \cdot \sqrt{\frac{Q}{\rho_a U} \cdot \frac{m_g + m_a}{m_g}} \quad [7.1]$$

⁵ Beräknad utifrån att nedre brännbarhetsgränsen anges till 7 vol% i [1]



där

$\sigma_{y0} = \sigma_{z0}$ = initiala utspädningskoefficienter i y- resp. z-led.

ρ_a = luft densitet (1,2 kg/m³)

Q = källstyrka (kg/s)

m_g = molvikt biogasblandning med 65vol% metan (25,8 kg/kmol)

m_a = molvikt luft (29 kg/kmol)

U = plymens advektionshastighet (5 eller 10 m/s ⁶)

Spridningsmodellen ger koncentrationen av gas på ett givet avstånd från utsläppspunkten med hjälp av nedanstående ekvationer.

$$X(x, y, z) = \frac{Q}{2 \pi \sigma_y \sigma_z u} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \exp\left(-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right) \exp\left(-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right) \quad [7.2]$$

där

$X(x, y, z)$ = koncentrationen på avståndet x, y och z, (kg/m³)

Q = källstyrka (kg/s)

σ_y, σ_z = dispersionskoefficienter i sid- och höjddled

u = vindhastigheten (5 eller 10 m/s)

H = utsläppets höjd (m)

Dispersionskoefficienterna som styr spridning i sid- och höjddled beräknas enligt nedan.

$$\sigma_y = \frac{a_y (x + x_{y0})}{(1 + b_y (x + x_{y0}))^{\gamma_y}} K_{rp} K_{yt} \quad [7.3]$$

$$\sigma_z = \frac{a_z (x + x_{z0})}{(1 + b_z (x + x_{z0}))^{\gamma_z}} K_{rp} \quad [7.4]$$

där a , b , och γ är parametrar som beror på rådande stabilitet; x_{y0} och x_{z0} är avstånden till s.k. virtuella källor, dvs. de koordinatförskjutningar som är nödvändiga för att plymen ska få rätt bredd och höjd initialt. K_{rp} anger en korrigering för underlagets skrovlighet och K_{yt} för samplingstidens (medelvärdesbildningstidens) påverkan på den horisontella spridningen. För bebyggt område är $K_{rp} = 1$ och K_{yt} antar ett värde på 1,0 då den önskade medelvärdesbildningstiden är densamma som medelvärdetiden (500 s).

Amosfärens stabilitet har antagits vara klass D, vilket ger följande värden.

⁶ Baserad på vindhastigheten, 10 m/s



Stabilitet	a_y	b_y	γ_y	a_z	b_z	γ_z
D	0,16	0,0004	0,5	0,14	0,0003	0,5

Nedanstående ekvationer används för beräkning av x_{y0} och x_{z0} .

$$x_{y0} = \frac{\left(\frac{\sigma_{y0}}{K_{rp}K_{yt}}\right)^2 b_y + \frac{\sigma_{y0}}{K_{rp}K_{yt}} \sqrt{\left(\frac{\sigma_{y0}}{K_{rp}K_{yt}}\right)^2 b_y^2 + 4a_y^2}}{2a_y^2} \text{ för } \gamma_y = 0,5 \quad [7.5]$$

$$x_{z0} = \frac{\left(\frac{\sigma_{z0}}{K_{rp}}\right)^2 b_z + \frac{\sigma_{z0}}{K_{rp}} \sqrt{\left(\frac{\sigma_{z0}}{K_{rp}}\right)^2 b_z^2 + 4a_z^2}}{2a_z^2} \text{ för } \gamma_z = 0,5 \quad [7.6]$$

σ_{y0} och σ_{z0} är de initiala dispersionskoefficienterna, vilka väljs utifrån ekvation [7.1].

A.8 Allmänna gaslagen

Allmänna gaslagen uttryckt enligt följande:

$$P \cdot V = m \cdot R \cdot T \quad [8.1]$$

där

P = gastryck (Pa)

V = volym (m^3)

m = massa (kg)

R = gaskonstant (J/kgK)

T = temperatur (K)

Beräkningarna har baserats på konstant processtemperatur på 40 °C (313 K).

Gaskonstanten har anpassats för att ta hänsyn till biogasens förväntade sammansättning. Gaskonstanten har beräknats till 322 J/kgK, vilket motsvarar biogas med 65 vol% metan och molmassan 25,8 kg/kmol.



