

PM

Strålning från varmfackla vid biogas förbränning

Inledning

WSP Brand & Risk har fått i uppdrag av Svensk Biogas i Linköping AB att utreda vilken strålningsnivå som uppstår på olika avstånd i omgivningen till följd av strålning från en varmfackla då biogas förbränns. Biogasen förbränns i varmfacklan vid överproduktion.

Dimensionerande förutsättningar

För att genomföra strålningsberäkningarna har beräkningarna utgått ifrån följande förutsättningar:

- Varmfacklans höjd är 11 meter och dess diameter är 3,2 meter.
- Temperaturen på lågan i varmfacklan är 1100°C och beräkningarna utgår ifrån att lågan endast befinner sig i röret vid förbränning.
- Strålning som påverkar omgivningen antas endast ske från brandgaserna som lämnat facklan d.v.s. röret som lågan förbränns i är isolerad i den grad att endast försumbar strålning uppkommer ifrån röret.
- Brandgaserna från facklans topp upp till 2 meter över facklan antas konservativt ha samma temperatur som lågan i facklan, (1100 °C).
- Emmisiviteten för brandgasen varierar med dess täthet och temperatur. Brandgasernas emissivitet har i detta fall antagits till 0,9 vilket är ett konservativt antagande, då lågan förbränns rent d.v.s. ingen uppkomst av sotning sker.
- Närmaste byggnad som utsätts för strålning från facklan är gasklockan som har en höjd på 4,5 meter och ligger på ett avstånd av 8 meter från facklan. Baserat på facklans höjd och Pythagorassats ger detta ett minimalt avstånd av 10 meter från strålkällan till gasklockan.

Utförande

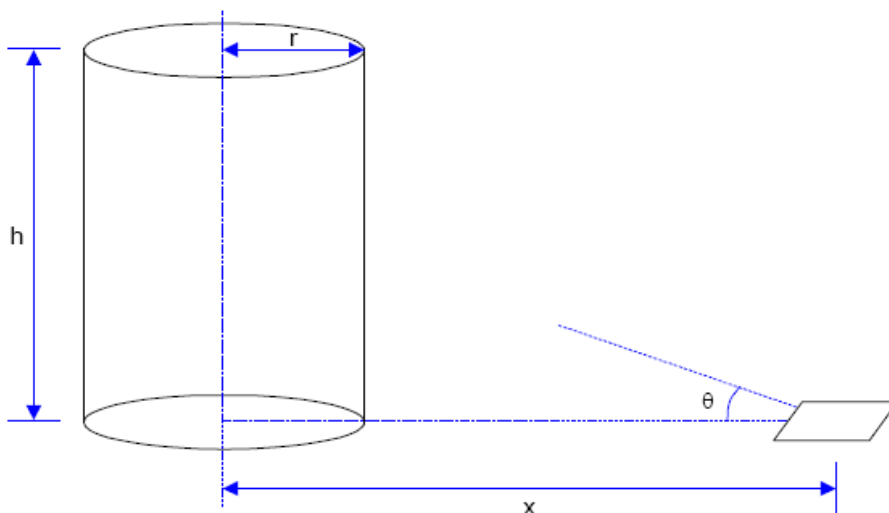
Strålningsberäkningarna har genomförts med hjälp av handberäkningar. Beräkningarna av den värmestrålning och temperaturökning i omgivningen som uppstår vid förbränningen i varmfacklan har genomförts enligt följande:

- Beräkning av synfaktor
- Bestämning av absorptionsfaktor och atmosfärisk transmissionsförmåga
- Beräkning av infallande strålning på olika avstånd från varmfacklan

Beräkning av synfaktor för cylindrisk källa

Synfaktorn (F) anger hur stor andel av den emitterade strålningen som når den mottagande punkten eller ytan (se figur 1). Vid beräkningen av synfaktorn antas att brandgasen från facklans topp stiger rakt upp till 2 meter över facklan. Brandgasen kan därför ses som en cylindrisk källa med höjden 2 meter och diametern 3,2 meter (likt fackelröret).

Den bestrålade ytan antas vara orienterad så att normalen till ytan och cylinderns centrumlinje ligger i ett plan (den bestrålade ytan är vänd rakt mot rökgaserna). Vinkelkoefficienten beror på strålningskällans (cylinderns) höjd, diameter samt avståndet till bestrålad yta. Se figur 1.



Figur 1. Parametrar som användes för beräkning av vinkelkoefficient för en cylinder.

För ett horisontellt bestrålat plan (marken) kan vinkelkoefficienten beräknas som

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

och för ett vertikalt bestrålat plan (objekt) gäller

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

Där

$$A=(x_r+1)^2 + h_r^2$$

$$B=(x_r-1)^2 + h_r^2$$

$$h_r=h/r$$

$$x_r=x/r$$

Maximal vinkelkoefficient (F_{\max}) beräknas som

$$F_{\max} = \sqrt{F_h^2 + F_v^2} \quad [\text{ekvation 3}]$$

Bestämning av absorptionsfaktor och atmosfärisk transmissionsförmåga

På 20 m avstånd kan fuktig luft vid hög temperatur reducera strålningen med upp till 40%. Vid låg temperatur (0 C) och lägre luftfuktighet (40%) blir dock reduktionen på 20 m bara 0,1. (-10 C och 40% fukt ger 0,05).

Absorptionen har därför försumrats i denna utredning då närmaste byggnad ligger närmare än 20 meter.

Infallande strålning

Den infallande strålningen som når omgivningen varierar med brandgasernas temperatur, synfaktorn och strålningskällans emissivitet. Emissiviteten, det vill säga materialets förmåga att avge värmeenergi, är beroende av materialets temperatur och egenskaper, särskilt vid ytan. Exempelvis kan sägas att en blankpolerad yta har mycket lägre emissivitet än en mörk skrovlig yta. Den infallande strålningen kan beräknas genom:

$$q_r'' = \varepsilon \sigma F_{\max} T^4 \quad [\text{ekvation 4}]$$

Där

$$q_r'' = \text{Infallande strålning (kW/m}^2\text{)}$$

ε = Emissiviteten (-)

σ = Stefan Boltzmanns konstant (= $5.67 \cdot 10^{-11}$ kW/m²K⁴)

F_{\max} = Synfaktor (-)

T = Brandgasens medeltemperatur (K)

Resultat

Med hjälp av ovanstående samband och förutsättningar har strålningsnivån på olika avstånd från facklan beräknats.

Synfaktor och strålningsnivån på olika avstånd från strålkällan återges i Tabell 1 nedan.

Avstånd från strålkälla (x) [m]	Synfaktor (F)	Strålning (q) [kW/m ²]
0	-	181,3
1	0,26	47,53
2	0,12	22,25
3	0,07	12,62
4	0,04	8,10
5	0,03	5,63
10	0,01	1,68
15	0,00	0,80
20	0,00	0,46
25	0,00	0,30

Tabell 1: Beräkning av synfaktor och strålningsnivå på halva strålkällans höjd för olika avstånd.

Det framgår tydligt av beräkningarna att den infallande strålningen avtar med avståndet från strålkällan.

För att kunna få en uppfattning av vilken strålning som är tolerabel kan beräknade strålningsnivåer jämföras med följande värmepåverkan och gränsvärden. (Då den maximala temperaturen uppstår först efter en längre tids strålningspåverkan anses temperaturen vara en mindre lämplig jämförelse.)

1 kW/ m ²	Högsta nivå som inte orsakar smärta
13 kW/ m ²	Antändning av trä vid närvaro av en liten flamma, samt orsak till outhärdlig smärta efter 3 s exponering
20 kW/ m ²	Kriteriet för övertändning i rum, orsakar outhärdlig smärta efter 1 s exponering
30 kW/ m ²	Spontan antändning av trä i det fria.

Kritiska strålningsnivåer för byggnad är enligt Boverkets byggregler (BBR) 15 kW/ m².

Slutsats

Utifrån beräkningarna samt avstånd, 10 meter, till närmaste byggnad (gasklocka) kan det påvisas att strålning från facklan som träffar gasklockan inte kommer överstiga 1,68 kW/m².

Vid marken 11 meter från strålningskällan kommer enligt beräkningarna strålningen att understiga 1 kW/m² vilket är lägsta nivån som kan orsaka smärta.

Utifrån beräknad strålning och avstånd bedöms facklan kunna placeras på ett avstånd av minst 5 meter ifrån annan byggnad, där brandfarlig vara inte hanteras öppet, i horisontalled samt att annan byggnad är belägen lägre än facklans topp.

Vidare bör det beaktas att ingen hänsyn har tagits till om biogas läcker ut ifrån facklan utan att facklan har tänt. Om läckage (utsläpp) sker ”kontrollerat” i röret bedöms metangasen stiga rakt upp i luft (likt ett utsläpp ifrån kallfacklan) och därmed bedöms inget gasmoln ansamlas ovan facklan.

Linköping 2011-09-02

WSP Brand & Risk

Christian Andersen