

Memo Aan:

N.V. Nederlandse Gasunie

Memo Nr.:

OAGNL-21-010

Van:

5.1.2.e

Datum:

27-01-2021

Kopie:

5.1.2.e , 5.1.2.e , 5.1.2.e en
5.1.2.e (Gasunie)

Emissies bij opslag van aardgascondensaat in een atmosferische tank of drukvat

1 INLEIDING

De Nederlandse overheid pakt Zeer Zorgwekkende Stoffen (ZZS) met voorrang aan. Dit zijn stoffen die gevaarlijk zijn voor mens en milieu omdat ze bijvoorbeeld kankerverwekkend zijn, de voortplanting belemmeren of zich in de voedselketen ophopen. Mensen en ecosystemen kunnen in contact komen met Zeer Zorgwekkende Stoffen via het milieu (lucht, water of bodem), voedsel, de werkplek, of via producten. De Nederlandse overheid voert beleid om de risico's van ZZS voor mens en milieu te minimaliseren. Het overheidsbeleid is vastgelegd in het Activiteitenbesluit. Dit verplicht bedrijven hun lozingen en uitstoot van ZZS naar lucht en water te voorkomen. Als dat niet haalbaar is, dan moeten de emissies zoveel mogelijk worden beperkt (minimalisatieverplichting).

Aardgascondensaat (AGC) is een ZZS vanwege de aanwezigheid van meer dan 0.1% benzeen (C_6H_6), zie [ref. 1]. Dit wordt afgevangen in hogedruk installatieonderdelen als vloeistofvangers, scrubbers en afsluiters.

Tijdens opslag en transport van aardgascondensaat kunnen emissies vrijkomen in de vorm van ademverliezen, verdringingsverliezen en zgn. flashverliezen. In de volgende paragrafen worden deze verliezen toegelicht met kentallen om vervolgens een inschatting te kunnen maken in de jaarvracht aan benzeen emissies op verschillende Gasunie installaties.

2 VERDRIJVINGSVERLIES

Verdrijvingsverlies ontstaat door het verdringen van damp door de vloeistof tijdens het vullen van een opslagtank. Hierbij is de verplaatsing van het vloeistofvolume gelijk aan het volume verdrijvingsverlies uit de opslagtank.

In de periode 2018 – 2020 zijn door DNV GL een aantal metingen verricht naar de gassamenstelling tijdens het verdrijven van (atmosferische) ondergrondse opslagtanks op verschillende Gasunie locaties. Deze gegevens staan vermeld in tabel 1, waarbij ook het verdrongen volume in liters uit de opslagtank is vermeld. Hiervan is een gewogen gemiddelde samenstelling berekend in mol % en massa %. De daaruit berekende fysische gegevens staan vermeld in tabel 2. Het aandeel benzeen bedraagt respectievelijk 0.208 mol % (minimum 0.075 en maximum 0.350 mol %) en 0.546 massa %.

Tabel 1. Gassamenstelling tijdens verdrijving uit een ondergrondse opslagtank.

Component	A-143	A-182	A-196	A-132	A-151	Gewogen gemiddelde	
	9000 liter	10000 liter	5000 liter	8000 liter	5000 liter	mol%	massa %
	mol %	mol %	mol %	mol %	mol %		
Oxygen	20.447	20.222	17.723	19.224	17.484	19.353	20.812
Nitrogen	78.748	77.008	70.144	74.740	74.175	75.630	71.203
Methane	0.000	0.211	4.236	0.792	0.855	0.916	0.494
Carbon dioxide	0.119	0.149	1.242	1.382	0.594	0.616	0.911
Ethane	0.037	0.289	2.531	0.978	1.962	0.905	0.915
n-Propane	0.038	0.409	1.643	0.679	1.453	0.685	1.015
2-Methylpropane	0.027	0.215	0.655	0.392	0.540	0.311	0.607
n-Butane	0.047	0.328	0.736	0.397	0.799	0.393	0.768
2,2-Dimethylpropane	0.002	0.041	0.010	0.008	0.056	0.022	0.053
2-Methylbutane	0.041	0.193	0.334	0.283	0.364	0.218	0.528
n-Pentane	0.043	0.189	0.238	0.204	0.372	0.188	0.456
2,2-Dimethylbutane	0.010	0.038	0.021	0.029	0.122	0.038	0.111
2-Methylpentane	0.025	0.077	0.123	0.165	0.121	0.096	0.277
3-Methylpentane	0.010	0.029	0.035	0.050	0.050	0.033	0.095
n-Hexane	0.030	0.080	0.047	0.059	0.158	0.070	0.202
Benzene	0.165	0.208	0.075	0.251	0.350	0.208	0.546
Cyclohexane	0.058	0.103	0.107	0.185	0.150	0.117	0.330
n-Heptane	0.071	0.094	0.051	0.075	0.173	0.089	0.300
Toluene	0.036	0.048	0.040	0.072	0.065	0.052	0.160
Methylcyclohexane	0.032	0.029	0.009	0.022	0.058	0.029	0.097
n-Octane	0.016	0.041	0.000	0.013	0.100	0.032	0.121
Totaal	100.000	100.000	100.000	100.000	100.001	100.000	100.000

Tabel 2. Fysische gegevens ISO 6976 (1995, tabel 3).

Parameter	Berekende waarde	Eenheid
Calorische bovenwaarde	4.629	MJ/m ³ _(n)
Calorische onderwaarde	4.279	MJ/m ³ _(n)
Relatieve dichtheid	1.03	-
Dichtheid	1.329	kg/m ³ _(n)
Wobbe index	4.566	MJ/m ³ _(n)
Molaire massa	29.756	kg/kmol

3 FLASHVERLIEZEN

Naast bovengenoemde verliezen bestaan er ook zgn. flashverliezen. Flashverliezen ontstaan tijdens het tappen door het ontspannen van de vloeistof uit hogedruk installatieonderdelen.

In de periode 2018 - 2019 zijn door DNV GL een aantal metingen verricht naar de hoeveelheid flashgas en samenstelling bij tapwerkzaamheden aan verschillende installatieonderdelen [ref. 3 en 4]. De vloeistofmonsters zijn onder heersende leidingdruk verzameld in 500 ml hogedrukcilinders. Hierbij is in de meeste gevallen gebruik gemaakt van een tapwagen. Aan de tapwagen is een kleine aanpassing uitgevoerd om monsternamen mogelijk te maken. Deze aanpassing omvat een kogelkraan die is aangebracht op de drain van het filterhuis in de toevoer naar de condensaat tank van de tapwagen (hogedruk zijde), zie figuur 1. Op deze kogelkraan wordt vervolgens een (geëvacueerde) hogedrukcilinder aangesloten om tijdens het tappen een vloeistofmonster te verzamelen. In totaal zijn 13 locaties bezocht. De RTL-locaties zijn grotendeels geselecteerd op basis van historische gegevens van afgetapte hoeveelheden.

Door de hogedrukcilinders onder gecontroleerde omstandigheden te laten ontspannen is de hoeveelheid en compositie van de ontgassing vastgesteld. De gemiddelde samenstelling van deze ontgassing is weergegeven in tabel 3 en bevat gemiddeld 0.403 massa % benzeen. Daarnaast is bij enkele proeven vastgesteld dat er gemiddeld 5.2 gram ontgassing optreedt per kilogram afgetapte vloeistof.

Figuur 1. Detail tapwagen.



Tabel 3. Gassamenstelling tijdens flashen vloeistoffen.

Component	A-401	S-7727	S-7552	A-182	S-8718	S-7227	S-7225	S-8801	A-196 G-gas	A-196 H-gas	Gemiddelde	
	mol %	mol %	mol %	mol %	mol %	mol %	mol %	mol%	mol%	mol%	mol %	massa%
Helium	0.000	0.032	0.028	0.000	0.031	0.037	0.015	0.032	0.020	0.000	0.019	0.004
Hydrogen	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.992	0.057	0.000	0.000	0.105	0.011
Oxygen	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Nitrogen	5.120	12.726	12.974	7.084	12.588	12.939	9.781	13.282	12.614	0.932	10.004	14.694
Methane	84.172	81.578	81.602	82.535	81.045	80.877	79.030	81.223	80.129	87.528	81.972	68.950
Carbon dioxide	3.168	1.219	1.149	1.305	1.455	1.404	1.805	0.972	2.556	2.299	1.733	3.999
Ethane	5.972	3.387	3.306	5.910	3.239	3.376	4.531	3.104	3.594	8.014	4.443	7.005
n-Propane	0.919	0.590	0.527	1.572	0.569	0.624	1.209	0.545	0.556	0.803	0.791	1.830
2-Methylpropane	0.179	0.125	0.103	0.432	0.165	0.142	0.399	0.122	0.098	0.139	0.190	0.580
n-Butane	0.181	0.130	0.096	0.436	0.213	0.168	0.541	0.136	0.127	0.081	0.211	0.643
2,2-Dimethylpropane	0.007	0.003	0.003	0.012	0.008	0.005	0.018	0.004	0.015	0.010	0.009	0.032
2-Methylbutane	0.058	0.045	0.031	0.145	0.101	0.075	0.278	0.067	0.039	0.049	0.089	0.335
n-Pentane	0.049	0.040	0.027	0.122	0.097	0.070	0.262	0.066	0.039	0.036	0.081	0.305
2,2-Dimethylbutane	0.011	0.006	0.005	0.019	0.018	0.012	0.048	0.012	0.015	0.005	0.015	0.068
2-Methylpentane	0.020	0.017	0.013	0.058	0.055	0.037	0.142	0.040	0.014	0.024	0.042	0.189
3-Methylpentane	0.007	0.006	0.004	0.019	0.019	0.013	0.049	0.014	0.006	0.008	0.014	0.065
n-Hexane	0.016	0.015	0.012	0.042	0.045	0.029	0.111	0.034	0.019	0.010	0.033	0.150
Benzene	0.074	0.041	0.058	0.104	0.131	0.079	0.300	0.106	0.082	0.008	0.098	0.403
Cyclohexane	0.018	0.014	0.023	0.074	0.085	0.045	0.191	0.066	0.020	0.024	0.056	0.247
n-Heptane	0.013	0.014	0.016	0.061	0.061	0.027	0.134	0.052	0.020	0.015	0.041	0.218
Toluene	0.009	0.008	0.012	0.033	0.038	0.021	0.083	0.031	0.012	0.015	0.026	0.126
Methylcyclohexane	0.007	0.006	0.009	0.015	0.019	0.010	0.039	0.016	0.017	0.003	0.014	0.072
n-Octane	0.000	0.000	0.000	0.020	0.020	0.010	0.043	0.019	0.012	0.000	0.012	0.074
Totaal	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	99.999	99.999	100.000	100.000

Tabel 4. Fysische gegevens ISO 6976 (1995, tabel 3).

Parameter	Berekende waarde	Eenheid
Calorische bovenwaarde	37.993	MJ/m ³ _(n)
Calorische onderwaarde	34.338	MJ/m ³ _(n)
Relatieve dichtheid	0.660	-
Dichtheid	0.853	kg/m ³ _(n)
Wobbe index	46.769	MJ/m ³ _(n)
Molaire massa	19.073	kg/kmol

4 ADEMVERLIEZEN

Voor ondergrondse horizontale tanks wordt aangenomen dat er geen ademverliezen optreden doordat de bodem warmte-isolerend werkt. Voor de ademverliezen van ondergrondse (atmosferische) tanks hoeven daarom geen correcties uitgevoerd te worden [ref. 2]. De ademverliezen van bovengrondse atmosferische opslagtanks (zonder ademventiel) worden berekend met onderstaande berekening, voor een toelichting wordt verwezen naar [ref. 2].

De ademverliezen worden berekend met:

$$L_y = 0,2 \cdot \left(\frac{P}{101,3 - P} \right)^{0,68} \cdot D^{1,73} \cdot H^{0,51} \cdot T^{0,5} \cdot F_p \cdot C \cdot M$$

- L_y = ademverlies [kg/jaar]
- P = dampspanning [kPa] (zie paragraaf 4.1.2 voor de corresponderende temperatuur)
- D = tankdiameter [m]
- H = gemiddelde vrije damphoogte [m]
- T = dagelijks temperatuurverschil [°C], zie bijlage B1
- F_p = isolatie- en verffactor [-], zie bijlage B3
- C = correctiefactor voor tanks met $D < 9$ m [-], zie bijlage B4
- M = molecuulgewicht van de damp [g/mol]

Hieronder volgt een voorbeeld voor compressorstation Wijngaarden. De dampspanning (P) van de vloeistof is berekend volgens de wet van Raoult, de totale dampspanning bij een mengsel van zuivere vloeistoffen is:

$$P_{\text{mengsel}} = \sum x_i \cdot p_i$$

- P_{mengsel} = dampspanning [kPa] van het vloeistofmengsel
- x_i = molfracties van vloeistof i [-]
- p_i = dampspanning [kPa] van vloeistof i

Hierbij is gebruik gemaakt van de gemiddelde vloeistofsamenstelling uit 9 verschillende (ondergrondse) opslagtanks [ref. 3]. Tabel 5 geeft een overzicht van de berekende dampspanning bij een jaargemiddelde temperatuur van 10 °C (Wijngaarden). De tankdiameter (D) bedraagt 2 meter en voor de gemiddelde vrije damphoogte (H) is 1.6 meter aangenomen (tank nagenoeg leeg). Het dagelijks temperatuurverschil (T) bedraagt voor locatie Wijngaarden 7.5 graden Celsius. Voor de isolatie- en verffactor (F_p) is een factor 0.9 aangenomen omdat de opslagtank onder een afdak is geplaatst. De correctiefactor (C) voor kleine opslagtanks bedraagt 0.3 en het molecuulgewicht (M) van de damp 29.756 g/mol (overgenomen uit tabel 2).

Het ademverlies voor Wijngaarden bedraagt ca. 1.5 kg/jaar. Daarvan bestaat 0.546 massa % uit benzeen, hetgeen neerkomt op een verlies van $0.546/100 \cdot 1.5 = 8.2$ gram benzeen per jaar.

Tabel 5. Berekening dampspanning in bovengrondse atmosferische opslagtank Wijngaarden.

Vloeistofsamenstelling	massa %	Molfractie x_i	Dampspaning kPa @ 10 °C	p mengsel kPa @ 10 °C
				kPa
Benzeen	1.40	0.015	6.06	0.09
Tolueen	0.43	0.004	1.65	0.01
Xyleen	0.08	0.001	0.63	0.00
methanol	12.65	0.323	7.20	2.32
ethylbenzeen	0.25	0.002	0.52	0.00
diethyleenglycol	84.83	0.653	0.0008*	0.00
iso-Heptaan	0.36	0.003	1.09	0.00
Totaal	100.00	1.000		2.42

*dampspanning bij 25 °C (=overschatting)

5 VRACHTBEREKENING BENZEENEMISSIONS ONDERGRONDSE ATMOSFERISCHE OPSLAGTANK

Om voor de verdringingsverliezen het volume vast te stellen is de gemiddelde dichtheid benodigd van de verplaatste vloeistof. Op basis van referentie 3 kan een gemiddelde dichtheid worden berekend van 1056 kg/m³. Hierbij moet worden opgemerkt dat de vloeistof voornamelijk bestaat uit diethyleenglycol (C₄H₁₀O₃).

Als rekenvoorbeeld kan in het geval van ES Oude Statenzijl voor 2019 de volgende jaarvracht worden berekend, waarbij in totaal 8220 kg vloeistof is afgevoerd naar de afvalverwerker:

Verdringingsverliezen:

$$\text{Volume} = 8220 \text{ kg} / 1056 \text{ kg/m}^3 \text{ AGC vloeistof} = 7.784 \text{ m}^3$$

$$\text{AGC damp} = 7.784 \text{ m}^3 \times 1.329 \text{ kg/m}^3 \text{ AGC damp} = 10.344 \text{ kg}$$

$$\text{Benzeen} = 0.546 \text{ massa \%} / 100 \times 10.368 \text{ kg} = \underline{0.057 \text{ kg}}$$

Flashverliezen:

$$\text{Flashverlies} = 8220 \text{ kg} \times 0.0052 \text{ kg/kg} = 42.744 \text{ kg flashdamp}$$

$$\text{Benzeen} = 0.403 \text{ massa \%} / 100 \times 42.744 \text{ kg} = \underline{0.172 \text{ kg}}$$

$$\text{Totale jaarvracht benzeen ES Oude Statenzijl 2019} = 0.057 \text{ kg} + 0.172 \text{ kg} = \underline{0.229 \text{ kg}}$$

6 VRACHTBEREKENING BENZEENEMISSION DUKVAT

Momenteel worden enkele ondergrondse atmosferische opslagtanks vervangen door bovengrondse drukvaten. Aardgascondensaat en andere vloeistoffen afgevangen door separatoren, op enkele locaties ook door compressoren, moeten worden afgetapt naar een drukvat. De "aardgascondensaat"-opslagvaten dienen tevens als gas/vloeistofscheider voor het ontgassen van gasverzadigde vloeistofstromen die onder hoge druk worden afgevoerd vanaf de separatoren (en op enkele locaties vanaf de compressoren). Het drukvat met stikstofdeken wordt bedreven op een operationele druk tussen 20 mbar en 200 mbar middels een drukregeling en afblaas naar een veilige locatie (> 2,5 m boven maaiveld). Hierbij komt emissie vrij, waarvan momenteel (nog) geen metingen beschikbaar zijn.

Het verschil met een atmosferische tank is dat verdrijving- en flashverliezen naast elkaar plaatsvinden bij automatische tappingen vanuit separatoren (en op enkele locaties vanaf de compressoren). Toevoeging van vloeistof in het drukvat zal de beschikbare ruimte boven het vloeistofniveau doen afnemen, waardoor de druk boven de vloeistof zal toenemen. Daarnaast zal door ontgassing extra drukopbouw plaatsvinden. Bij een nagenoeg leeg drukvat is dan sprake van accumulatie. Naarmate meer vloeistof wordt toegevoegd zal de druk in het drukvat toenemen tot boven de ingestelde regeldruk (200 mbar) en damp worden afgevoerd via de afblaas.

Tijdens het leeghalen van het opslagvat wordt automatisch stikstof toegevoegd ingeval de druk onder de 20 mbar dreigt te komen. Hiermee wordt de inerte atmosfeer boven de vloeistof in het drukvat in stand gehouden.

Om een schatting te kunnen maken van de benzeenemissie wordt (vooralsnog) gebruik gemaakt van dezelfde gegevens als een atmosferische tank. Hierbij wordt op basis van de jaarvracht dezelfde berekening toegepast als in hoofdstuk 5 met verdringings- en flashverliezen.

7 LITERATUUR

[1] Veiligheidsinformatieblad – Aardgascondensaten (aardolie) versie 3.0. 16 juni 2020. Gasunie Transport Services.

[2] Handboek emissiefactoren - Diffuse emissies en emissies bij op- en overslag. Rapportagereeks MilieuMonitor. Nummer 14, maart 2004.

[3] Kwalificatie van aardgascondensaat 2019. H. Top. DNV GL. Rapportnummer OGNL.180185, 18 december 2019 (vertrouwelijk).

[4] Kwalificatie aardgascondensaat. H. Top. DNV GL. Rapportnummer OAGNL-19-006, 26 november 2018 (vertrouwelijk).

BIJLAGE

Overzicht codes Gasunie locaties:

A-143	M&R Birstum
A-182	ES Hilvarenbeek
A-196	ES Oude Statenzijl
A-132	M&R Scheemda
A-152	M&R Westerbork
A-401	CS Ommen
S-7727	Nieuwe Laar Middelrode
S-7552	De Rendierhoeve Moergestel
S-8718	Vloeistofvanger Schinnen A67
S-7227	Zuid Kraaiert-Vlissingen Nieuwdorp
S-7225	Borssele centrale
S-8801	Sibberweg Sibbe