

OPUS TIGÁZ Zrt.
4200 Hajdúszoboszló
Rákóczi u. 184.
www.opustigaz.hu

Szabályozott Tevékenységek Felügyeleti Hatósága
Bányászati és Gázipari Főosztály
Bányászati és Koordinációs Osztály

Budapest
Alkotás utca 50.
1123

Tisztelt Szabályozott Tevékenységek Felügyeleti Hatóság!

Az **SZTFH-BÁNYÁSZ/7742-2/2025. számú határozatában** a Szabályozott Tevékenységek Felügyeleti Hatósága (a továbbiakban: Hatóság) Társaságunkat, az **OPUS TIGÁZ Zrt.-t** (a továbbiakban: Társaság) arra kötelezte, hogy a korábban benyújtott, a forrásszintű metánkibocsátások számszerűsítését tartalmazó jelentését módosítsa, és a módosított dokumentumot a Bányafelügyelet részére ismételtén nyújtsa be.

A Hatóság által a határozatban foglalt kiegészítési kérésekre tekintettel Társaságunk az alábbi, válaszlevél formájában megfogalmazott nyilatkozatot kívánja benyújtani:

- 1. Szíveskedjen kiegészíteni a leadott, forrásszintű metánkibocsátások számszerűsítését tartalmazó jelentést a tulajdoni hányaddal, valamint a nem üzemeltetett eszközök metánkibocsátásának tulajdoni hányaddal történő figyelembevételével.***

Társaságunk válasza: a Metánrendelet 2. cikk 6.pontja szerinti „nem üzemeltetett eszköz” metánkibocsátása Társaságunk üzemviteli működése során nem értelmezhető, mivel a nem üzemeltetett eszközök, azaz az elosztóvezeték és tartozékai, Társaságunk technológiai utasításainak megfelelően az üzemén kívül helyezés során nyomás és gázmentesítésre kerülnek, így azokban földgáz nem található, így szivárgás sem azonosítható.

- 2. Szíveskedjen kiegészíteni a leadott, forrásszintű metánkibocsátások számszerűsítését tartalmazó jelentést a „nem üzemeltetett eszközök” üzemviteli működését ellátó szervezetek listájával.***

Társaságunk válasza: a Metánrendelet 2. cikk 6.pontja szerinti „nem üzemeltetett eszköz” Társaságunk üzemviteli működése alatt nem értelmezhető, ezért a leadott jelentéshez vonatkozóan kiegészítéssel nem tudunk szolgálatni.

A fenti alapján tisztelettel kérjük a Tisztelt Bányafelügyeletet, hogy az OPUS TIGÁZ Zrt. forrásszintű metánkibocsátások számszerűsítését tartalmazó jelentés kiegészítésével kapcsolatos nyilatkozatunkat elfogadni szíveskedjen, a korábban leadott jelentésen nem kívánunk változtatni.

Gödöllő, 2025. szeptember 26.


Bán Zoltán
Eszközmenedzsment igazgató
OPUS TIGÁZ Zrt.

OPUS TIGAZ Zrt.
4200 Hajdúszoboszló
Rákóczi u. 184.
1123


Bakos Imre
Gázhálózati vezérigazgató-
helyettes
OPUS TIGÁZ Zrt.

501020000/000217-001/2025



213755433



Nyilvántartási szám:
ISO 9001: 503/0089(B)-219(B)
ISO 14001: KIR/161(B)-160(B)
ISO 45001: MEB/IR/4331-4031

2024. évi földgázelosztói hálózat permeációs együttható alapján számított metánkibocsátása								
Vezeték anyaga	Csőhossz (m)	Falvastagság (mm)	Üzemi nyomás (bar)	"Di" - cső belső átmérő (mm)	"De" - cső külső átmérő (mm)	"Dm" - cső medián átmérő (m)	"A" - cső felület medián (m²)	Q formula (m³/év)
PE	979,75	1,82	0,1	16,36	20	0,01818	55,95759281	0,107470631
PE	3383427,486	1,82	3	16,36	20	0,01818	193241,6	1349,580222
PE	6787,85	1,82	6	16,36	20	0,01818	387,6823132	4,738186133
PE	5245,39	1,14	3	17,72	20	0,01886	310,7916521	3,465245133
PE	117,6	2,27	0,1	20,4545	25	0,02272725	8,396611968	0,01292946
PE	3213,85	2,27	3	20,4545	25	0,02272725	229,4681239	1,284890081
PE	74,69	2,27	6	20,4545	25	0,02272725	5,332848197	0,052256568
PE	1201,9	1,42	0,1	20,4545	25	0,02272725	85,81537351	0,211241341
PE	150,2	1,42	3	20,4545	25	0,02272725	10,7242442	0,095994824
PE	271 532	3	0,1	26	32	0,029	24738,2898	28,82375651
PE	4 519 089	3	3	26	32	0,029	411716,9864	1744,4037
PE	57 307	3	6	26	32	0,029	5220,982169	38,71136387
PE	11 138	1,82	0,1	28,36	32	0,03018	1056,017834	2,028159131
PE	40 681	1,82	3	28,36	32	0,03018	3857,088056	26,93752151
PE	147	1,82	6	28,36	32	0,03018	13,91858749	0,170110567
PE	1 983	3,636	0,1	32,728	40	0,036364	226,4973865	0,217741637
PE	4 396	3,636	3	32,728	40	0,036364	502,2303054	1,755692724
PE	6	3,636	6	32,728	40	0,036364	0,646603354	0,003955684
PE	2 956	2,27	0,1	35,45	40	0,037725	350,3113156	0,539424256
PE	65	2,27	3	35,45	40	0,037725	7,727281202	0,043268349
PE	1 574	4,545	0,1	40,9	50	0,04545	224,7727548	0,172866939
PE	1 586	4,545	3	40,9	50	0,04545	226,4747566	0,633366928
PE	28	4,545	6	40,9	50	0,04545	3,997990811	0,019566602
PE	7 108	2,841	0,1	44,318	50	0,047159	1053,076803	1,295659772
PE	106	2,841	3	44,318	50	0,047159	15,63176736	0,06993689
PE	170 978	5,8	0,1	51,4	63	0,0572	30724,55674	18,51653818
PE	14 978 388	5,8	3	51,4	63	0,0572	2691602,899	5898,647753
PE	193 600	5,8	6	51,4	63	0,0572	34789,73314	133,4229753
PE	12 461	3,5795	0,1	55,841	63	0,0594205	2326,149786	2,271524745
PE	171 341	3,5795	3	55,841	63	0,0594205	31985,15692	113,5783584
PE	305	3,5795	6	55,841	63	0,0594205	56,98814591	0,354135674
PE	82	5,909	0,1	53,1818	65	0,0590909	15,18531415	0,008982805
PE	142	5,909	3	53,1818	65	0,0590909	26,34225035	0,056664146
PE	1 813	6,818	0,1	61,3636	75	0,0681818	388,4292681	0,199139362
PE	108	6,818	3	61,3636	75	0,0681818	23,04785996	0,042967796
PE	51	6,818	6	61,3636	75	0,0681818	10,96486944	0,035772887
PE	828	4,261	0,1	66,477	75	0,0707385	183,8966092	0,150856612
PE	166	7,2727	6	65,4545	80	0,07272725	37,99612327	0,116212042
PE	143	4,5454	0,1	70,909	80	0,0754545	33,77924066	0,025976458
PE	124 876	8,2	0,1	73,6	90	0,0818	32091,03986	13,6795591
PE	2 287 043	8,2	3	73,6	90	0,0818	587729,4325	911,0307924
PE	395 529	8,2	6	73,6	90	0,0818	101643,8282	275,7240686
PE	24 716	5,1	0,1	79,8	90	0,0849	6592,228238	4,518187206
PE	50 802	5,1	3	79,8	90	0,0849	13550,05391	33,77071966
PE	7 453	5,1	6	79,8	90	0,0849	1987,846553	8,670021973
PE	47	9,0909	0,1	81,8182	100	0,0909091	13,29465024	0,005111781
PE	6 899	9,0909	3	81,8182	100	0,0909091	1970,318574	2,754856867
PE	35	9,0909	6	81,8182	100	0,0909091	10,0530975	0,024598042
PE	1 190	5,6818	0,1	88,6364	100	0,0943182	352,5488815	0,216888019
PE	213 747	10	0,1	90	110	0,1	67150,69474	23,47213923
PE	1 317 861	10	3	90	110	0,1	414018,3064	526,2462488
PE	661 455	10	6	90	110	0,1	207802,3143	462,2297533
PE	166 848	6,25	0,1	97,5	110	0,10375	54382,59088	30,41459511
PE	132 062	6,25	3	97,5	110	0,10375	43044,18279	87,53947107
PE	35 721	6,25	6	97,5	110	0,10375	11642,81345	41,43672651
PE	3 762	11,3636	3	102,2728	125	0,1136364	1343,106259	1,502325031
PE	9	11,3636	6	102,2728	125	0,1136364	3,177293587	0,006219406
PE	123	7,10227	0,1	110,79546	125	0,11789773	45,55755702	0,022421539
PE	0	7,10227	6	110,79546	125	0,11789773	0,111115993	0,000348006
PE	255	12,7272	3	114,5456	140	0,1272728	101,9590198	0,101826836
PE	1	12,7272	6	114,5456	140	0,1272728	0,399839293	0,000698812
PE	274	7,954	0,1	124,092	140	0,132046	113,6647197	0,049950778
PE	240	13,6363	0,1	122,7274	150	0,1363637	102,8158076	0,026355151
PE	15	13,6363	3	122,7274	150	0,1363637	6,383148052	0,005949875
PE	108 593	14,6	0,1	130,8	160	0,1454	49603,92365	11,87586732
PE	749 463	14,6	3	130,8	160	0,1454	342345,5438	298,0446236
PE	1 022 760	14,6	6	130,8	160	0,1454	467184,2168	711,7751537
PE	128 230	9,1	0,1	141,8	160	0,1509	60789,63471	23,35018382
PE	202 863	9,1	3	141,8	160	0,1509	96170,52767	134,3290908
PE	31 222	9,1	6	141,8	160	0,1509	14801,18996	36,1795164
PE	323	10,227	0,1	159,546	180	0,169773	172,2745079	0,058880966
PE	71 723	18,2	0,1	163,6	200	0,1818	40964,17347	7,867467743
PE	225 220	18,2	3	163,6	200	0,1818	128632,3273	89,83554519
PE	700 946	18,2	6	163,6	200	0,1818	400339,2668	489,2877229
PE	114 663	11,4	0,1	177,2	200	0,1886	67938,61942	20,83118752
PE	92 060	11,4	3	177,2	200	0,1886	54546,17194	60,81754629
PE	51 601	11,4	6	177,2	200	0,1886	30574,06708	59,65624037
PE	691	20,4545	0,1	184,091	225	0,2045455	444,0356603	0,075880668
PE	1 556	20,4545	3	184,091	225	0,2045455	999,7549643	0,621261112
PE	20	12,784	3	199,432	225	0,212216	13,33392453	0,013257471
PE	30 026	22,7	0,1	204,6	250	0,2273	21441,08649	3,301589646
PE	56 496	22,7	3	204,6	250	0,2273	40343,233	22,58990007
PE	363 313	22,7	6	204,6	250	0,2273	259435,9183	254,2211992
PE	33 132	14,2	0,1	221,6	250	0,2358	24543,79525	6,041649651
PE	25 976	14,2	3	221,6	250	0,2358	19242,37139	17,22422606
PE	27 669	14,2	6	221,6	250	0,2358	20496,48767	32,10691797
PE	519	25,4545	0,1	229,091	280	0,2545455	414,7931201	0,056959889
PE	44	15,9	3	248,2	280	0,2641	36,50656327	0,029183898
PE	8	27,27	0,1	245,46	300	0,27273	6,426049233	0,000823685
PE	21	17,045	0,1	265,91	300	0,282955	18,66751634	0,003828174

PE	20 153	28,6	0,1	257,8	315	0,2864	18132,74978	2,216153295	
PE	34 331	28,6	3	257,8	315	0,2864	30889,16564	13,72807405	
PE	186 170	28,6	6	257,8	315	0,2864	167507,26	130,2792108	
PE	48 576	17,9	0,1	279,2	315	0,2971	45339,27201	8,853677	
PE	25 969	17,9	3	279,2	315	0,2971	24238,7429	17,21180946	
PE	12 684	17,9	6	279,2	315	0,2971	11838,6426	14,71148103	
PE	38	36,3636	0,1	327,2728	400	0,3636364	43,8680618	0,004216807	
PE	325	36,4	3	327,2	400	0,3636	371,2420039	0,129635872	
PE	3221	22,7277	6	354,5446	400	0,3772723	3817,644789	3,736349953	
PE	12	40,909	0,1	368,182	450	0,409091	15,42236736	0,001317754	
PE	4,2	40,909	3	368,182	450	0,409091	5,397828577	0,001677141	
Permeációból származó metánkibocsátás:								12 907,77	(m ³ /év)
Permációból származó metánkibocsátás - átváltás:								9,25	(tonna/év)
CH ₄ emissions in CO ₂ e (AR5-100):								259,06	(tonna/év)

METHANE PERMEATION THROUGH ADVANCED HIGH-PRESSURE PLASTICS AND COMPOSITE PIPES

**Frans Scholten (frans.scholten@kiwa.nl) and
Mannes Wolters (mannes.wolters@kiwa.nl),
Kiwa Gas Technology, PO Box 137, 7300 AC Apeldoorn, Netherlands**

Presented at the Plastics Pipes XIV Conference, Budapest, 22-24 September 2008

ABSTRACT

There is a clear market wish to use plastic and composite pipes for natural gas pipelines at higher pressures than the traditional limit of 10 bars for PE100 pipes. Candidates are Polyamide 12, plasticized PA6.12, Polyamide 11, other long-chain Polyamide pipes and PE-based composite pipes (Multilayer M pipes). However, at higher pressures permeation of natural gas through the wall of plastic or composite pipes increases, depending on materials composition and SDR. An international testing programme was started to measure the permeation rate and permeability coefficient of 14 different 110mm plastic and composite pipes. Sponsors are pipe and resin manufacturers and GERG (European Gas Research Group). Included in the investigation were 5 different brands of Polyamide pipe, a pipe produced from a PE100 resin containing 10% of a special anti-permeation additive and a RTP Light pipe. Two PE100 pipes were measured for reference. Using the permeation curves, the permeability coefficient PC (in ml.mm/m²/bara/day), diffusion coefficient D (in cm²/sec.) and solubility coefficient S (in kbara⁻¹) for methane have been calculated for all measured pipes. The PA pipes show only a few percent of the permeability coefficient of PE100 pipe. The PE100 pipe containing 10 % of a special anti-permeation additive possesses a 5.2 times lower permeability coefficient than regular PE100 pipe. Therefore, this modified PE100 pipe shows a permeation rate in between the values for PE100 and PA pipes.

INTRODUCTION

Any plastic material will show some permeation of methane or other gases, although the permeability coefficient (permeation rate under standard conditions) can be very different for different polymers. Because the pipe systems investigated in this project are intended for natural gas pressures higher than 10 bars, the permeation rate is more important than for pipes only used at lower pressures.

There could be three reasons to assess permeation losses through the wall of plastic pipes in gas distribution systems:

1. The economic value of lost natural gas
2. Contribution to global warming and climate change caused by these permeation losses.
3. Safety issues, because permeated gases may accumulate in unwanted and unexpected locations.

It is clear that reasons 1 and 2 are not important enough. Natural gas leakages at pipeline connections and joints are much more important than permeation losses, both from an economical and from a “climate change” point of view.

This leaves safety as most important reason to investigate permeation losses. Permeated gas may flow several meters away from a pipeline and accumulate elsewhere. In rare occasions this may lead to flammable or explosive mixtures with air at unexpected locations. Accumulation may occur under the following conditions:

- in impermeable soil
- under impermeable pavements
- near impermeable foundations of buildings
- inside protective jacket pipes.

Still, permeation does not imply any loss of mechanical integrity of the pipeline.

Plastic pipes intended for pressures above 10 bars can be made of different types of PA resins, like PA12, PA11, plasticized PA6.12 or other long-chain PA. RTP (Reinforced Thermoplastic Pipes, containing aramid or other fibres ^[1]) and multilayer PE100 pipe strengthened by highly oriented PE100 foil ^[2] are also possible. Most of these pipe materials have been investigated in this work.

The goal of the work is to determine the permeability coefficient of the different pipe materials. The measurements have been performed on whole pipe segments and not on foils.

EXPERIMENTAL METHODS

Materials

All investigated pipes had a nominal diameter of 110 mm, except pipe 11 (Table 1).

Investigated were 3 types of PA12 pipe, all 110mm and SDR11 (pipes 1, 2 and 3). A fourth PA material, a plasticized PA6.12 grade was also investigated (pipe 7). Pipe 6 is still under test.

Table 1. Investigated pipe materials. All pipes 110 mm, except pipe 11 (125 mm). Most are SDR11, except 4, 5 and 11.

Pipe nr.	Pipe	Resin manufacturer	Grade name	SDR
1	PA12	Evonik Degussa	Vestamid [®] LX9030	11
2	PA12	EMS-GRIVORY	Grilamid [®] FE 8566	11
3	PA12	Ube	Ubesta [®] 3035 UF	11
4	PE100 + 10 % UB39	DuPont	Pipelon [®] UB39	15.8
5	PE100			15.8
6	Long chain PA	DuPont	Pipelon [®] HT	11
7	plasticized PA6.12	DuPont	Pipelon [®] 401	11
11	PE100 multilayer	Pipelife	RTP “Light”	8.9
15	PE100	-	-	11

Three pipes were investigated produced by Pipelife (Netherlands), pipes 4, 5 and 15. Pipe 5 is a modified PE100 pipe with an usual SDR of 15.8 (7 mm wall thickness). The composition was this pipe is PE100 resin containing 10% of a special anti-permeation additive. Pipe 4 is a normal PE100 pipe with the same wall thickness and SDR, to allow comparison with pipe 4 at the same pipe dimensions. Pipe 15 is a SDR11 110mm PE100 pipe, used as reference in this publication.

Finally, a fourth pipe from Pipelife in Netherlands was investigated, a Reinforced Thermoplastic Pipe (pipe 11). This pipe was denoted “RTP Light”, with a diameter of 125 mm and wall thickness of 14 mm.

Methods

The typical shape of a permeation curve is (Figure 2 and Figure 3):

- At first no there is no permeation, followed by:
- Slow increase of the permeation rate (the slope) and finally:
- Steady state permeation with constant slope.

The permeation rate is linearly related to the slope of the curve in the final, linear part. From this slope the permeability coefficient PC can be calculated, by taking into account the wall thickness, pipe diameter, volume of the jacket pipe used for accumulation of permeated gas and the pressure difference (in bar(a), with respect to vacuum). The formula is given in equation (1):

$$PC = Q \cdot e / (A \cdot \Delta P) \quad (1)$$

In which:

PC is in ml.mm/m²/day/bara

Q is in ml/day

e = wall thickness in mm

A = surface area of the pipe in m²

ΔP = pressure difference for methane in bara (with respect to vacuum)

Permeation and the Median Pipe Diameter

The pipe diameter that is used for the calculations needs consideration. This is illustrated in Figure 1.

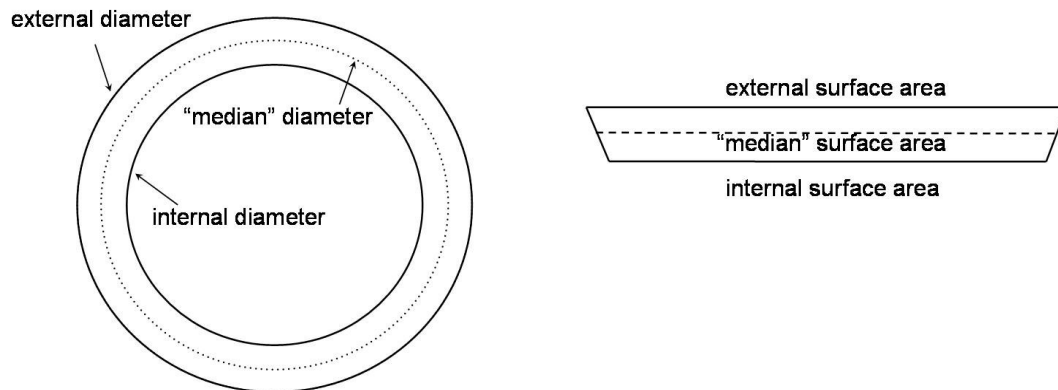


Figure 1. The external diameter D_e , the internal diameter D_i and the “median” pipe diameter D_m . At right: “flattened pipe”.

The median pipe diameter (D_m) is the diameter halfway between external diameter (D_e) and internal diameter (D_i). In formula:

$$D_m = (D_e + D_i)/2 \quad (2)$$

The right-hand part of Figure 1 illustrates that the median surface area A (in m^2) through which permeation takes place is the correct choice. The external surface area is too large and the internal surface area is too small. The median surface area A is defined in equation (3):

$$A = \pi \cdot D_m \cdot L \quad (3)$$

In which:

L = the length of the jacket pipe (m).

D_m is in meters as well.

Further:

$$D_m = D_e \cdot (SDR-1) / SDR \quad (4)$$

This leads to the general permeation equation for pipes:

$$PC = 1000 \cdot Q / (\pi \cdot (SDR-1) \cdot L \cdot \Delta P) \quad (5)$$

It is emphasised again that L is in meters.

This formula means that the permeability coefficient is not directly dependent on the pipe diameter and wall thickness separately, but only on the ratio between both, the SDR, via the factor $(SDR-1)$. At constant SDR, a larger pipe diameter is exactly compensated by the increase in wall thickness.

Diffusion coefficient and solubility

There is more information to be derived from the permeation curves. When the straight line in the final linear part of the curve is extrapolated back to the x- axis, a breakthrough time (BT) is found (in days). From BT the diffusion coefficient D can be calculated ^[3, 5] by equation (6):

$$BT = (e)^2 / (6 \cdot D) \quad (6)$$

in which D is the diffusion coefficient in mm^2/day , which value is converted to cm^2/sec .

Finally, the solubility (S) of the methane gas in the polymer materials can be calculated by equation (7) ^[3, 4]:

$$PC = D \cdot S \quad (7)$$

The unit of S is $bara^{-1}$ or $kbara^{-1}$. This means that the solubility of methane in the polymer is linearly dependent on the methane partial pressure (in bara). This is in agreement with Henry's Law ^[6].

Comparison with Other Laboratories

One reference PE100 pipe (pipe 15, see Table 1) was used for an inter-laboratory comparison of permeation results. The participating labs are mentioned in Table 2.

Table 2. The 3 labs that have performed permeation measurement on the same PE100 pipe nr. 15.

Lab code	Laboratory	Country
A	Gaz de France/Degaz	Hungary
B	DBI	Leipzig, Germany
C	Kiwa Gas Technology	Apeldoorn, Netherland

RESULTS

All measurements described in the Results section have been performed by lab C (Table 2). Additional data measured by other labs are presented under Discussion in Table 5.

The results of permeation experiments on 110mm SDR11 PA pipes are presented in Figure 2. The results of PE100 reference pipe 15 are included.

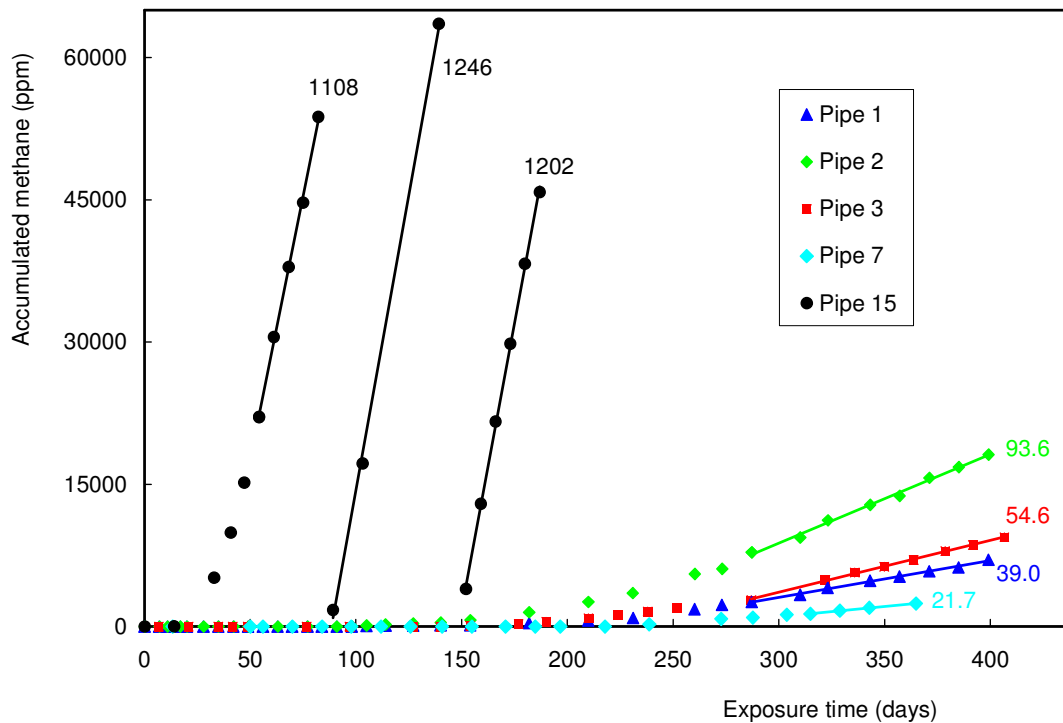


Figure 2. Accumulation of methane in a jacket pipe after permeation through the wall of 4 PA pipes and a PE100 pipe. All pipes SDR11 and diameter 110mm. Please note PA7 was measured at 16 bar(g), whilst the other pipes were all measured at 10 bar(g). The numbers near the straight lines are the permeation rates in ppm/day.

The results of the measurements are summarized in Table 3.

Table 3. Permeability coefficient (PC), Diffusion coefficient (D) and Solubility of methane (S) of 4 PA pipes, 2 PE100 pipes and a pipe containing a PA/PE100 mixture.

Pipe nr.	Pipe	PC (ml.mm/m ² /bara/day)	D (cm ² /sec)	S (kbara ⁻¹)
1	PA12	0.92	8.95 10 ⁻⁹	11.8
2	PA12	2.20	9.62 10 ⁻⁹	26.4
3	PA12	1.28	8.26 10 ⁻⁹	17.9
4	PE100 + UB39	7.0	1.8 10 ⁻⁹	46.0
5	PE100	36.6	5.57 10 ⁻⁸	76.0
6	Long chain PA	Under investigation		
7	Plasticized PA6.12	0.40 *	7.65 10 ⁻⁹ *	6.0 *
11	RTP	Under investigation		
15	PE100	34.1	6.42 10 ⁻⁸	61.5

* preliminary value, based on 4 data points in the linear range in Figure 2
PE100 pipe 5: 110mm PE100 pipe with a wall thickness of 7mm (SDR 15.8)

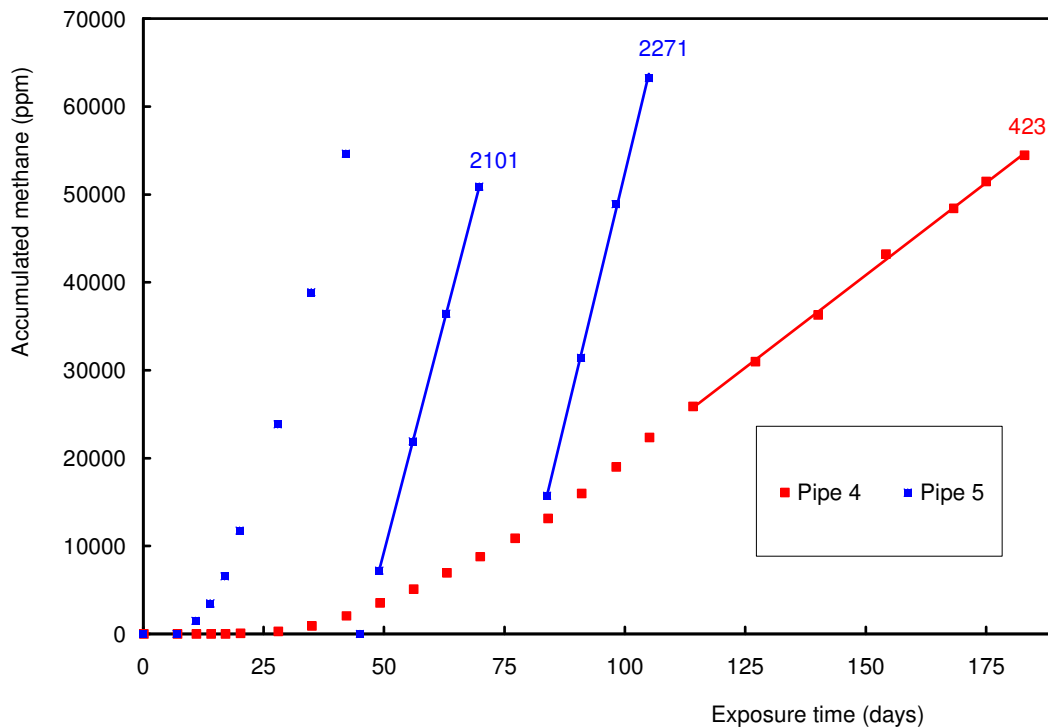


Figure 3. Accumulation data of a PE100 pipe with special anti-permeation additive and a PE100 reference pipe.

DISCUSSION

The diffusion coefficient of PE (density 964 kg/m³) was reported earlier by Stannett as $5.7 \cdot 10^{-8}$ cm²/sec ^[7]. The values for pipe 5 and 15, PE100 materials with a similar density, compare favourably with this value.

Pipe 1 and pipe 3 are both produced from PA12 resins and therefore show similar results. Pipe 2 is also produced from PA12 resin, but the value is higher. The reason is not known. Initial results obtained at 16 bars methane pressure (see Future work) confirm these differences.

The permeability coefficients of the 4 PA pipes are much lower than the permeability coefficient of PE100 pipe. Even when PA pipes will be used at higher pressures than PE100 pipes, the permeation rate will be much less. From a permeation point of view, this makes PA an attractive plastic pipe material for gas transport.

Table 4 shows the factor by which the permeability coefficient is reduced with respect to PE100 pipe. The average of the values of the 2 PE100 pipes in Table 3 (5 and 15) was taken as reference, except for pipe 4.

Table 4. Permeability coefficient of PA pipes with respect to the permeability coefficient of PE100 pipes.

Pipe	Reduction in Permeability coefficient in comparison to PE100 pipe	Remark
1	39	
2	16	
3	28	
4	5.2	Compared to pipe 5
7	87	

It appears that addition of an anti-permeation component to PE100 pipe is an interesting option. Adding 10% of Pipelon[®] UB39 reduces the permeability coefficient PC of this modified PE100 pipe by a factor of 5.2.

It appears that pipe 4, with 10% of an anti-permeation component added to PE100 resin, takes an intermediate position between PE100 pipe on the one hand and PA12 and plasticized PA6.12 pipes on the other hand.

Measurements by Other Laboratories

Two other labs (Table 2) have also made permeation measurements on the PE100 reference pipe (nr. 15). The results are presented in Table 5. The column PL is explained in a next section.

The values obtained by the 3 labs compare relatively well.

Table 5. Permeability coefficient (PC), Diffusion coefficient (D) and Solubility of methane (S) of reference pipe 15, a 110 mm SDR11 PE100 pipe, measured by 3 laboratories. One additional value for pipe 5 and a measurement at 8 °C on pipe 15 were added for comparison.

Pipe	Lab	Temperature (°C)	PC (ml.mm/m ² /bara/day)	D (cm ² /sec)	S (kbara ⁻¹)	PL (10 barg) (m ³ /km/year)
15	A	21	26.2	5.22 10 ⁻⁸	58	3.3
15	B	21	27.1	-	-	3.4
15	B	21	36.8	5.37 10 ⁻⁸	79	4.6
15	C	21	34.1	6.42 10 ⁻⁸	61	4.3
5	C	21	36.6	5.57 10 ⁻⁸	76	4.6
15	A	8	8.7	2.64 10 ⁻⁸	38	1.1

The Influence of Temperature

Gas pipelines are installed underground. Typical soil temperatures often vary between 8 and 14 °C. Therefore it is important to know the permeability coefficient of the investigated pipes in this temperature range. For one pipe, the PE100 SDR11 reference pipe nr. 15, a measurement was performed at 8 °C by lab A. The value is given in Table 5 as well.

It appears that the influence of temperature on the permeability coefficient is relatively large. At 8 °C the permeation rate of PE100 pipe is about 3 times as low as at 21 °C.

Practical Permeation Losses

The last column in Table 5 illustrates what the permeation loss under practical circumstances of the investigated pipes is. All calculations were made for 10 bar(g) methane pressure and SDR11. This Permeation Loss (PL) is given in cubic meters of methane per kilometre pipeline length per year. Equation (5), the general permeation equation for pipes was used, because PL is actually Q / L in that equation, at a known permeability coefficient.

It is emphasized that these values are only valid for PE100 pipes. Based on other permeation results at the lab of the authors, it may be expected that PE80 MDPE pipes will have a PL about 1.5 times as high.

It is possible to calculate the permeation rate for pipes with another SDR value, also by using equation (5). The conversion to a pipe with another SDR value is based on the factor (SDR-1) in that equation.

CONCLUSIONS

- The permeability coefficients measured by 3 laboratories on a PE100 reference pipe are similar. There also is a good correlation between the diffusion coefficient for PE100 and a literature value.
- Polyamide pipes (PA12 and plasticized PA6.12) possess a permeability coefficient which is 16 to 87 times lower than the permeability coefficient of

PE100 pipes. Hence, from a permeation point of view these long-chain PA pipe materials are attractive for natural gas transport and/or distribution.

- The investigated pipe which consists of a mixture of 10% of a special PA-based anti-permeation additive with PE100 resin shows a reduction in permeability coefficient by a factor of 5.2.

FUTURE WORK

The project is continued with:

- Completing permeation measurements on the PA12 pipes, the plasticized PA6.12 pipe and another long-chain PA pipe at 16 bars methane pressure.
- Completing permeation measurements on the RTP Light pipe.
- Measuring permeation of hydrogen gas at 10 bars of the 3 PA12 pipes.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors wish to thank gasNatural (Spain), E.ON Ruhrgas (Germany) and Gaz de France (France) and the PA resin manufacturers Evonik Degussa, EMS, UBE and DuPont for financial support and permission to publish these results. Gaz de France/Degaz and DBI are thanked for performing part of the measurements. Mr. Ernst van der Stok, Mr. Kim van Oers and Mr. Matthijs Schrijver are thanked for carefully performing the experiments.

REFERENCES

1. Wolters M, Wessing W., Dalmolen B., Eckert R. and Wuest J., "Reinforced Thermoplastics Pipeline (RTP) Systems for Gas Distribution", 23rd World Gas Conference, IUG, Amsterdam, 2006.
2. Wessing W., "Plastic Pipes in the High-Pressure Gas Area – an Evaluation from the Perspective of a Pipeline Operator" (in German), Presentation 10 at the Wiesbadener Kunststoffrohrtage, 23-24 April 2008, Brömstrup Intern. Ingenieurberatung, Wiesbaden, Germany.
3. Curry J.E. and McKinley M.D., J. Polym. Sci., Polym. Phys. Ed., 11 (1973), 2209.
4. Singh A., Freeman B.D. and Pinnau I., J. Polym. Sci., Part B: Polym. Phys., 36 (1998), 289.
5. Lin Y. and Yasuda H., J. Appl. Polym. Sci., 60 (1996), 2227.
6. Moore W.J., "Physical chemistry", Prentice Hall, 5th ed., 1972, ISBN 0 582 44234 6.
7. Stannett V., Chapter 2 in: "Diffusion in Polymers" by J. Crank and G. S. Park, Academic Press, London and New York, 1968.

2024. évi elosztóhálózati vezetékrongálásokból származó metánkibocsátás					
Káresemény időpontja	Káresemény helye	Átadó	Gázvesztesség (m ³)	Gázvesztesség (MEJ)	Gázvesztesség (kWh)
2024.01.02	Karcag, Kuthen u. 63.	Karcag	44	1 695	471
2024.01.02	Tiszavasvári, Bajcsy Zs. u. 60/B	Tiszavasvári	55	2 118	588
2024.01.08	Tarcal, Könyves K. u. 23.	Szerencs	33	1 271	353
2024.01.12	Szigetszentmiklós, Rév - Kincsem u. sarok	Szigetszentmiklós	129	4 968	1 380
2024.01.18	Veresegyház, Bodza u. 3.	Alag 1+2	1 228	47 294	13 137,140
2024.01.19	Szolnok, Vasgereben u. 1.	Szolnok	269	10 360	2 878
2024.01.23	Vezseny, Rákóczi - Dózsa Gy. u.	Szolnok	1 287	49 566	13 768
2024.01.24	Pere, Kossuth u. 45.	Abaújkér	157	6 047	1 680
2024.01.25	Járdánháza, Kassai u. 8.	Járdánháza	16	616	171
2024.01.26	Fehérgyarmat, Szatmári u. 43.	Győrtelek 1+2	16	616	171,17
2024.02.07	Szögliget, Ifjúság u. 7.	Rudabánya	13	500	139,010
2024.02.07	Csemő-Zöldhalom, Ceglédi út (Külterület)	Nagykőrös	110	4 236	1 176,780
2024.02.08	Debrecen, Sámsoni - Simon I. u. kereszteződés	Debrecen I. 1 Debrecen I. 2 /Debrecen technikai/	3 062	117 926	32 757,280
2024.02.09	Budakeszi, Jókai u. 26.	Budaörs+ Budatétény 1	133	5 122	1 422,830
2024.02.10	Dabas, Szent István u. 44.	Újhartyán	8	308	85,580
2024.02.11	Tápiógyörgye, Móricz Zs. u. 23.	Cegléd I+II	15	578	160,470

2024.02.12	Telki, Nyúl u. 8.	Zsámbék	27	1 040	288,850
2024.02.13	Debrecen, Sámsoni u. 144.	Debrecen I. 1 Debrecen I. 2 /Debrecen technikai/	1 316	50 683	14 078,570
2024.02.13	Bocskai kert, Gyöngyvirág u.	Téglás	1	38	10,690
2024.02.16	Legyesbénye, Széchenyi - Deák kereszteződés	Szerencs	853	32 851	9 125,390
2024.02.16	Debrecen, Kosztolányi D. u. 74.	Debrecen I. 1 Debrecen I. 2 /Debrecen technikai/	50	1 926	534,900
2024.02.21	Veresregyház, Tó u. 10.	Alag 1+2	399	15 367	4 268,500
2024.02.21	Debrecen, Tőhötöm - Maros u.	Debrecen I. 1 Debrecen I. 2 /Debrecen technikai/	356	13 711	3 808,480
2024.02.27	Érd, Diósdí u. 41/a.	Százhalombatta I-5-1	99	3 813	1 059,100
2024.02.27	Putnok, Jókai u. 62.	Sajóvelezd	16	616	171
2024.02.28	Érd, Fürdő u.	Százhalombatta I-5-1	94	3 620	1 005,610
2024.02.29	Kisvárdá, Flórián tér 1.	Anarcs	639	24 610	6 836
2024.03.06	Cegléd, Közép u. 96.	Cegléd I+II	179	6 894	1 915
2024.03.06	Budajenő, Alsóerdőalja u.	Zsámbék	119	4 583	1 273,060
2024.03.07	Gyömrő, Annahegyi u. 14.	Vecsés	41	1 579	439
2024.03.08	Perkupa, Kossuth u. 68.	Rudabánya	17	655	182
2024.03.12	Alsónémedi, Árpád u. 37.	Soroksár 1-2	475	18 295	5 082
2024.03.13	Balkány, Dózsa Gy. u. 7.	Balkány	2	77	21
2024.03.16	Miskolc, Régi Posta u. 18-20.	Miskolc I+II-3+II-4	414	15 944	4 429

2024.03.18	Debrecen, Balaton u. 6.	Debrecen I. 1 Debrecen I. 2 /Debrecen technikai/	150	5 777	1 604,700
2024.03.19	Ebes, Petőfi u. 26.	Ebes	223	8 588	2 386
2024.03.21	Nyíregyháza, Levendula u.	Nyírtelek I.,III., Nyíregyháza I.-II.	239	9 205	2 557
2024.03.30	Ibrány, Bem A. u. 144.	Ibrány	6 214	239 319	66 477
2024.04.02	Nyírbátor, Bethlen Gábor u. 23.	Nyírmeggyes + Máriapócs	112	4 313	1 198,170
2024.04.04	Szigetcsép, Ribizli u. 8.	Tököl	60	2 311	641,880
2024.04.04	Mátészalka, Ipari u. 18.	Nyírmeggyes	78	3 004	834,440
2024.04.07	Beszterec, József A. u.	Nyírbogdány	4	154	42,790
2024.04.10	Kisvárd, Várkert u. 889/15	Anarcs	39	1 502	417,220
2024.04.10	Tiszaöldvár, Lehel u. 1.	Kunszentmárton	1 408	54 226	15 062,780
2024.04.12	Berettyóújfalu, Bocskai u. 72/B	Berettyóújfalu	16	616	171,170
2024.04.14	Újbarok, Fő u. 6.	Zsámbék	81	3 120	866,540
2024.04.15	Recsk, Kossuth u. 131.	Mátraderecske	5	193	53,490
2024.04.15	Szigetszentmiklós, Főveny u. 4.	Szigetszentmiklós	11	424	117,680
2024.04.17	Kosd, Dózsa Gy. u. 49.	Vác I + III-1-2	17	655	181,870
2024.04.18	Alsózsolca, Gyár u. vasút kereszteződés	Kistokaj 1-2	4 257	163 949	45 541,390
2024.04.23	Miskolc, Mészáros u. 25.	Miskolc I+II-3+II-4	7	270	74,880
2024.04.23	Mezőtúr, Fóti u. 178.	Mezőtúr + Gyomaendrőd 1-2	24	924	256,750

2024.04.25	Szerencs, Dobó K. u. 32.	Szerencs	73	2 811	780,950
2024.04.25	Felsőtárkány, Fő út 168.	Eger I-II	36	1 386	385,130
2024.04.26	Gödöllő, Blaháné 117. előtti közter.	Gödöllő I-II + Cinkota	94	3 620	1 005,610
2024.04.29	Csévár, Kossuth u. 6.	Romhány	3	116	32,090
2024.04.30	Poroszló, Vágóhíd u. 15.	Mezőkövesd	23	886	246,050
2024.05.01	Barabás, Árpád u. 44.	Beregdaróc	433	16 676	4 632,230
2024.05.02	Mezőkövesd, Szőlő u. 42.	Mezőkövesd	1 884	72 558	20 155,030
2024.05.04	Győröcske, Váci u. 15.	#HIÁNYZIK	33	1 271	353,030
2024.05.06	Jászsószentgyörgy, Liget u. 5.	Jászdózsa	5	193	53,490
2024.05.06	Mende, Ország u. 17.	Vecsés	218	8 396	2 332,160
2024.05.07	Egerszalók, Galamb u. 1.	Eger I-II	4	154	42,790
2024.05.07	Fehérgyarmat, Akácfa u. hrsz.:0245/31.	Győrtelek 1+2	52	2 003	556,300
2024.05.07	Budajenő, Árpád sétány	Zsámbék	1 508	58 077	16 132,580
2024.05.08	Nyírmeggyes, Külterület M49 autópálya	Nyírmeggyes	40	1 548	429,920
2024.05.10	Gödöllő, Ligeti Juliska u. 53-55.	Gödöllő I-II + Cinkota	1	154	42,790
2024.05.13	Sajóörös, Táncsics köz 11.	Kistokaj 1-2	89	3 428	952,120
2024.05.13	Debrecen, Kassai u. 45.	Debrecen I. 1 Debrecen I. 2 /Debrecen technikai/	1	39	10,700
2024.05.14	Tar, Rózsa u. 3.	Sámsonháza	51	1 964	545,600

2024.05.16	Üllő, Arany J. u. 19.	Vecsés	21	809	224,660
2024.05.16	Miskolc, Kinizsi u. 54.	Miskolc I+II-3+II-4	6	231	64,190
2024.05.21	Erdőkürt, Hárs köz	Zagyvaszántó 2	388	14 943	4 150,820
2024.05.21	Bakonszeg, Ady E. u. 30/2	Berettyóújfalu	120	4 622	1 283,760
2024.05.21	Kisvárd, Madách u.	Anarcs	160	6 162	1 711,680
2024.05.21	Gyöngyös, Warga L. u. 16/1	Gyöngyös	112	4 313	1 198,170
2024.05.22	Jászkisér, Akácfa-Kiskör u.	Jászdózsa	29	1 117	310,240
2024.05.23	Solymár, Toldi út 28/a	Pilisvörösvár + Solymárvölgy 1-2	12	462	128,380
2024.05.27	Péteri, Petőfi S. u. 40.	Vecsés	75	2 888	802,350
2024.05.28	Verpelét, Rózsa u. 6.	Eger I-II	33	1 271	353,030
2024.05.29	Hatvan, Baross u. 13.	Hatvan	519	19 988	5 552,260
2024.05.29	Törökbálint, Józsefhegyi u.	Budaörs+ Budatétény 3	28	1 078	299,540
2024.05.31	Viss, Ady u. 30	Ibrány	264	10 167	2 824,270
2024.05.31	Herceghalom, Ördöglovas lejtő	Zsámbék	474	18 255	5 070,850
2024.05.31	Olaszliszka, Kovács u. 54.	Szerencs	22	847	235,360
2024.06.03	Alsónémedi, Jácint u. 35.	Soroksár 1-2	6	231	64,190
2024.06.05	Debrecen, Lenkey- Mészöly sarok	Debrecen I. 1 Debrecen I. 2 /Debrecen technikai/	133	5 122	1 422,830
2024.06.05	Markaz, Fő út 72.	Nagyfüged	20	770	213,960

2024.06.06	Nyírtelek, Szent István u. 169	Nyírtelek I.	32	1 232	342,330
2024.06.07	Debrecen, Verseny u. 22.	Debrecen I. 1 Debrecen I. 2 /Debrecen technikai/	15	578	160,470
2024.06.07	Ecsér, (Ady E. út 2.) Ipar út 2.	Vecsés	975	37 550	10 430,550
2024.06.08	Miskolc, Glanzer Miksa u. 30.	Miskolc I+II-3+II-4	15	578	160,470
2024.06.11	Gyál, Táncsics u. 17.	Gyál	184	7 086	1 968,430
2024.06.12	Szigetszentmiklós, Dunaharaszti u. 29.	Szigetszentmiklós	181	6 971	1 936,340
2024.06.13	Tatabánya, Blaha L. u.	Tatabánya 1	9	347	96,280
2024.06.13	Debrecen BMW Külterületi u.	Debrecen I. 1 Debrecen I. 2 /Debrecen technikai/	1 745	67 205	18 668,010
2024.06.13	Üllő, Gyömrői u. 74/A	Vecsés	1	39	10,700
2024.06.14	Százhalombatta, Pillangó u. hrsz.:2006/56.	Százhalombatta I-5-1	224	8 627	2 396,350
2024.06.15	Magy, József A. u. 43.	Napkor	11	424	117,680
2024.06.17	Füzesabony, Nagyrét 10.	Kál	112	4 313	1 198,180
2024.06.17	Tarpa, Petőfi u. 3.	Beregdaróc	2 188	84 266	23 407,220
2024.06.17	Érd, Bihari u. 7.	Százhalombatta I-5-1	1 851	71 287	19 802,000
2024.06.18	Göd, hrsz.:056/2.	Sződ	656	25 264	7 017,89
2024.06.18	Budakeszi, Kert u. 82.	Budaörs+ Budatétény 1	6	231	64,190
2024.06.18	Nyíregyháza, Nyíregyházi u. 9.	Nyírtelek I.,III., Nyíregyháza I.- II.	40	1 541	427,920
2024.06.18	Gödöllő, Isaszegi u. 67	Gödöllő I-II + Cinkota	3	116	32,090

2024.06.20	Páty, Napfény u. 17.	Zsámbék	16	616	171,120
2024.06.20	Földes, József A. u. 9/a.	Kaba	8	308	85,580
2024.06.21	Nyírtelek, Ady E. ui.	Nyírtelek I.	54	2 080	577,690
2024.06.21	Sajószentpéter, Margitkapu	Sajószentpéter	1 014	39 052	10 847,770
2024.06.21	Szendehely, Dózsa Gy. u. 24-26	Romhány	383	14 750	4 097,330
2024.06.24	Dunabogdány, Bogonhát major 1334/58	Szigetmonostor	16	616	171,160
2024.06.25	Rákóczi falva, Arany J. u. 33.	Martfű	8	308	85,580
2024.06.25	Demjén, Fenyő út (505 km)	Eger I-II	7	270	74,870
2024.06.26	Szajol, Bem A. u. 11.	Szajol 1-1	3	116	32,090
2024.06.26	Vásárosnamény, Rózsafa u.	Kisvarsány 1+2	176	6 778	1 882,840
2024.06.26	Halmajugra, Ady-Kossuth sarok	Nagyfüged	6	231	64,190
2024.06.27	Pilisszántó, Béke út 48.	Pilisvörösvár + Solymárvölgy 1-2	387	14 904	4 140,130
2024.06.27	Miskolc, Tetemvár Felső sor 188.	Miskolc I+II-3+II-4	14	539	149,770
2024.06.27	Üllő, Gyömrői u. 16.	Vecsés	4	154	42,790
2024.06.27	Tatabánya, Levendula u. 36.	Tatabánya 1	1	38	10,690
2024.06.28	Szurdokpöspöki, Szent I. u. 13.	Pásztó 2	16	616	171,160
2024.06.29	Nagykálló, Nyírfa u. 26	Napkor	17	655	181,870
2024.06.30	Serényfalva, Kossuth út 105.	Sajóvelezd	214	8 242	2 289,370

2024.07.01	Tiszapüspöki, Kárpát u. 9.	Törökszentmiklós I.	58	2 234	620,480
2024.07.01	Andornaktálya, Rákóczi út 165.	Eger I-II	21	809	224,660
2024.07.01	Nagytálya, Kossuth út 25.	Eger I-II	12	462	128,380
2024.07.01	Nagytarcsa, Ip. park Tavasz u.	Gödöllő I-II + Cinkota	1 234	47 525	13 201,330
2024.07.01	Fűzár, Dózsa Gy. u	Sárospatak	602	23 185	6 440,200
2024.07.01	Gödöllő, Észak u. 5.	Gödöllő I-II + Cinkota	17	655	181,870
2024.07.02	Rákóczifalva, Kisfaludy u. 5.	Martfű	189	7 279	2 021,920
2024.07.04	Hosszúpályi, Hunyadi u.	Sáránd	16	616	171,160
2024.07.04	Budakeszi, Törökőr u. 7.	Budaörs+ Budatétény 1	162	6 239	1 733,070
2024.07.05	Emőd, Kossuth út 131/133	Kistokaj 1-2	27	1 040	288,850
2024.07.05	Fehérgyarmat, M49 autópálya ép.	Győrtelek 1+2	30	1 155	320,940
2024.07.08	Pomáz, Panoráma u. 40.	Szentendre 2	387	14 904	4 140,120
2024.07.08	Nyíregyháza, Napkelte u.	Nyírtelek I.,III., Nyíregyháza I.-II.	8	308	85,580
2024.07.08	Hatvan, Bajcsy-Zs. u. 10.	Hatvan	236	9 089	2 524,730
2024.07.10	Nyékládháza, Sugár út 4097 hrsz	Kistokaj 1-2	6	231	64,190
2024.07.10	Viss, Rákóczi F. u. 7.	Ibrány	7	270	74,880
2024.07.10	Eger, Kistályai u. 5.	Eger I-II	81	3 120	866,540
2024.07.11	Törökbálint, Józsefhegyi u. 33.	Budaörs+ Budatétény 3	88	3 389	941,420

2024.07.11	Pusztamonostor, Rákóczi u.	Zsámbok 2	35	1 348	374,430
2024.07.11	Nyírbátor, Kisszoros u. 4.	Nyírmeggyes + Máriapócs	40	1 541	427,920
2024.07.12	Vizslás Újlak, Május 1. u	Salgótarján 1+2	6	231	64,180
2024.07.17	Zsurk, Kossuth tér 31.	Mándok	17	655	181,860
2024.07.18	Hajdúböszörmény, Koppány u. 44.	Hajdúböszörmény	13	501	139,070
2024.07.19	Csömör, Széchenyi út 15.	Gödöllő I-II + Cinkota	1 281	49 335	13 704,140
2024.07.24	Nyíregyháza, Szirom u.	Nyírtelek I.,III., Nyíregyháza I.-II.	702	27 036	7 509,990
2024.07.24	Fedémes - Tarnalelesz között	Tarnalelesz	7 511	289 270	80 352,680
2024.07.24	Százhalombatta, Asztalos u. 4.	Százhalombatta I-5-1	133	5 122	1 422,830
2024.07.25	Polgár, Városkert u.	Nyíregyháza 2	106	4 082	1 133,980
2024.07.25	Endrefalva, Dobó K. u. 12.	Szécsény	13	501	139,070
2024.07.25	Bátonyterenye, Honvéd u. 31.	Bátonyterenye	12	462	128,370
2024.07.26	Kuncsorba, Dózsa Gy. u. 59.	Fegyvernek	11	424	117,680
2024.07.26	Debrecen, Határ u. 50.	Debrecen I. 1 Debrecen I. 2 /Debrecen technikai/	20	770	213,960
2024.07.27	Tiszanána, Gárdonyi 7/1 mellett	Mezőkövesd	10	385	106,980
2024.07.29	Eger, Tibrik dűlő	Eger I-II	115	4 429	1 230,270
2024.07.30	Szolnok, Attila u.	Szolnok	94	3 620	1 005,610
2024.07.30	Nyírtass, Dózsa Gy. u. 77.	Petneháza	3	116	32,090

2024.07.30	Budaörs, Köz tér 1.	Budaörs+ Budatétény 2	4	154	42,790
2024.07.31	Szob, József A. út 3.	Vác II	410	15 790	4 386,180
2024.08.01	Leányfalu, Hunyadi út 790 hrsz	Szentendre 2	1	39	10,700
2024.08.01	Debrecen, Kristály u.	Debrecen I. 1 Debrecen I. 2 /Debrecen technikai/	27	1 040	288,840
2024.08.01	Taktaszada, Petőfi u. 40.	Szerencs	34	1 309	363,730
2024.08.01	Hajdúnánás, Tiszavasvári u. 248/32	Tiszavasvári	567	21 837	6 065,760
2024.08.01	Gyermely, Tatai u. 63.	Zsámbék	53	2 041	566,990
2024.08.02	Jászberény, Bercsényi u. 72.	Jászberény	145	5 584	1 551,210
2024.08.03	Budaörs, Kossuth u. 21.	Budaörs+ Budatétény 2	203	7 818	2 171,690
2024.08.05	Pomáz, Goethe út 8. 1433/12	Szentendre 2	76	2 927	813,050
2024.08.06	Tiszasüly, Móra F. u. 11.	Fegyvernek	53	2 041	566,990
2024.08.06	Bicske, Madách u.	Zsámbék	53	2 041	566,990
2024.08.07	Mezőkövesd, Széchenyi út 8.	Mezőkövesd	33	1 271	353,040
2024.08.08	Újfehértó, Böszörményi u.	Téglás	8	308	85,580
2024.08.08	Sajólád, Katona J. u.	Kistokaj 1-2	45	1 733	481,410
2024.08.08	Dombrád, Andrásy u. 119.	Anarcs	320	12 324	3 423,360
2024.08.09	Borsodbóta, Rákóczi út 29.	Sajóvelezd	9	347	96,280
2024.08.09	Vácduka, Hársfa sor 27.	Sződ	53	2 041	566,990

2024.08.09	Recsk, Petőfi út 16.	Mátraderecske	3	116	32,100
2024.08.09	Mátraderecske, Mátra u. 10.	Mátraderecske	31	1 194	331,640
2024.08.09	Göd, Dózsa Gy. út 59.	Sződ	562	21 644	6 012,280
2024.08.12	Nyíregyháza Butykatelep, Kabay u.	Nyírtelek I.,III., Nyíregyháza I.- II.	1 880	72 404	20 112,240
2024.08.13	Sirok, Széchenyi út 130.	Pétervására	66	2 542	706,070
2024.08.14	Budaörs, Farkasréti út 88.	Budaörs+ Budatétény 2	44	1 695	470,710
2024.08.14	Debrecen, István út 147.	Debrecen I. 1 Debrecen I. 2 /Debrecen technikai/	30	1 155	320,940
2024.08.15	Tiszalök, Szabadság u.	Tiszalök	35	1 348	374,430
2024.08.17	Galgagyörk, Vasút u. 1.	Romhány	17	655	181,860
2024.08.21	Maglód, Ady E. út 15.	Vecsés	18	693	192,570
2024.08.21	Budaörs, Kertész u. 10.	Budaörs+ Budatétény 2	73	2 811	780,950
2024.08.21	Tatabánya, Szegfű u. 10.	Tatabánya 1	240	9 243	2 567,520
2024.08.22	Tiszacsege, Csurgó u. 5.	Tiszacsege	15	578	160,470
2024.08.22	Hort, Kossuth út 53.	Csány	14	539	149,770
2024.08.25	Nyíregyháza, Aranykalász sor 138.	Nyírtelek I.,III., Nyíregyháza I.- II.	50	1 926	534,900
2024.08.25	Jászberény, Petrence u. 13.	Jászberény	15	578	160,470
2024.08.25	Debrecen, Baksay S. - Abonyi u.	Debrecen I. 1 Debrecen I. 2 /Debrecen technikai/	4	154	42,790
2024.08.26	Nyírbátor, Szabadság tér 20.	Nyírmeggyes + Máriapócs	2	77	21

2024.08.27	Bódvassilas, Szabadság út 48.	Rudabánya	2	77	21,400
2024.08.27	Jásztelek, Petőfi u. 4.	Jászdózsza	11	424	117,680
2024.08.27	Abony, Lukács u.	Abony	69	2 657	738,160
2024.08.28	Debrecen, Lőrinc Pap u. 3	Debrecen I. 1 Debrecen I. 2 /Debrecen technikai/	3	116	32,090
2024.08.28	Martfű, Gesztenyefa sor 9.	Martfű	987	38 012	10 558,930
2024.08.28	Eger, Pócsik D. út	Eger I-II	4	154	42,790
2024.08.28	Eger, Cifrakapu 136.	Eger I-II	30	1 155	320,940
2024.08.30	Tolmács, Szent L. u. 90.	Rétság	83	3 197	887,930
2024.09.04	Arnót, Móricz Zs. út 35.	Miskolc I+II-3+II-4	42	1 618	449,310
2024.09.05	Nyíregyháza, Galya u. 1.	Nyírtelek I.,III., Nyíregyháza I.- II.	52	2 003	556,290
2024.09.05	Mátészalka, Zöldfa u. 226.	Nyírmeggyes	90	3 466	962,820
2024.09.07	Szakáld, Táncsics út 64.	Kistokaj 1-2	12	462	128,370
2024.09.07	Szolnok, Debreceni u. 35.	Szolnok	83	3 197	887,930
2024.09.07	Szomor, Kültérület hrsz.:495.	Zsámbék	37	1 425	395,826
2024.09.07	Buják, Szabadság u. 5.	Pásztó 2	4	154	42,790
2024.09.07	Szakáld, Táncsics út 64.	Kistokaj 1-2	12	462	128,370
2024.09.08	Pusztazámor, Naphegy u.	Százhalombatta I-5-1	127	4 891	1 358,650
2024.09.10	Szécsény, Hársfa u. 3.	Szécsény	66	2 542	706,060

2024.09.12	Hajdúsámson, Kiscsere u. hrsz.:2906/3.	Hajdúsámson	3	116	32,090
2024.09.12	Őr és Jármű M49 autópálya ép.	Őr	135	5 199	1 444,230
2024.09.13	Tardos, Szent Flórián u. 18/a.	#HIÁNYZIK	36	1 386	385,130
2024.09.17	Szentendre, Szentlászlói út 27.	Szentendre 2	387	14 904	4 140,130
2024.09.18	Berente, Bem út 2.	Kazincbarcika V (Berente)	110	4 236	1 176,780
2024.09.19	Nagyfüged, Damjanich út 22	Nagyfüged	5	193	53,490
2024.09.19	Heréd, Béke 456 hrsz	Zagyvaszántó 2	98	3 774	1 048,400
2024.09.21	Nyíregyháza, Csemete u. 57.	Nyírtelek I.,III., Nyíregyháza I.-II.	320	12 324	3 423,360
2024.09.24	Nagytarcsa, AlsóIpari út 093/375 hrsz	Gödöllő I-II + Cinkota	302	11 631	3 230,800
2024.09.24	Diósd, Szt. László u. hrsz.:1380/128.	Százhalombatta I-5-1	228	8 781	2 439,140
2024.09.25	Budaörs, Nyár- Budafoki u. sarok	Budaörs+ Budatétény 2	46	1 772	492,110
2024.09.25	Győrtelek-Kocsord M49 autópálya	Győrtelek 1+2	341	13 133	3 648,018
2024.09.26	Budakeszi, Csák J. u. 15.	Budaörs+ Budatétény 1	73	2 811	780,950
2024.09.26	Leányfalu, Pappret út 7.	Szentendre 2	387	14 904	4 140,130
2024.09.28	Kerepes, Öv út 4.	Gödöllő I-II + Cinkota	114	4 390	1 219,570
2024.09.30	Érd, Műszerész u. 45.	Százhalombatta I-5-1	152	5 854	1 626,100
2024.10.01	Szárliget, Tölgyfa u. 27.	Zsámbék	839	32 487	9 024,280
2024.10.02	Kaba, Hajnal u. 45.	Kaba	50	1 936	537,800

2024.10.02	Makkoshotyka, Ady E. út 3.	Sárospatak	45	1 742	484,020
2024.10.03	Debrecen, Fiákeres u. 51.	Debrecen I. 1 Debrecen I. 2 /Debrecen technikai/	1	39	10,750
2024.10.03	Gávavencsellő, Kossuth u.	Ibrány	586	22 691	6 303,010
2024.10.07	Bodrogkeresztúr, Kossuth út 73.	Szerencs	169	6 544	1 817,760
2024.10.07	Bodrogkislud, Kossth út 10.	Szerencs	63	2 439	677,630
2024.10.07	Budaörs, Rózsa - Szerelő u. sarok	Budaörs+ Budatétény 2	220	8 519	2 366,320
2024.10.08	Napkor, Ipar u. 1.	Napkor	512	19 825	5 507,070
2024.10.09	Kaba, Veres Péter u. 2.	Kaba	5	194	53,780
2024.10.09	Fegyvernek, Ady u. 32.	Fegyvernek	17	658	182,850
2024.10.10	Szolnok, Nagysándor J. u. 30.	Szolnok	190	7 357	2 043,640
2024.10.11	Debrecen, Szent Anna u. 66.	Debrecen I. 1 Debrecen I. 2 /Debrecen technikai/	1	39	10,756
2024.10.11	Örkény, Nagykőrösi u. 46.	Pusztavacs	849	32 875	9 131,840
2024.10.15	Üllő, Hunyadi út 2/a.	Vecsés	74	2 865	795,940
2024.10.15	Szolnok, Törteli u. 33	Szolnok	183	7 086	1 968,350
2024.10.15	Törtel, Kocséri u. 35.	Abony	31	1 200	333,440
2024.10.16	Százhalombatta, Római u. 64.	Százhalombatta I-5-1	636	24 627	6 840,820
2024.10.18	Salgótarján, Damjanich u. 82.	Salgótarján 1+2	12	465	129,070
2024.10.18	Nagyar, Petőfi u. 3.	Beregdaróc	13	503	139,820

2024.10.18	Tápiószele, Deák u. 20.	Cegléd I+II	12	465	129,070
2024.10.18	Törökszentmiklós, Szolnoki u.	Törökszentmiklós I.	15	581	161,340
2024.10.18	Halmaj, Fő út 23.	Abaújkér	53	2 052	570,070
2024.10.18	Tiszalök, Szabolcs u. 8.	Tiszalök	15	581	161,340
2024.10.21	Ostoros, Hullámtér út	Eger I-II	19	736	204,360
2024.10.21	Vác, Makay út 6.	Vác I + III-1-2	258	9 990	2 775,050
2024.10.21	Vaja, Kültérület 0145/6hrsz.	Őr	1	39	10,756
2024.10.22	Debrecen, Sámsoni u. 86.	Debrecen I. 1 Debrecen I. 2 /Debrecen technikai/	400	15 489	4 302,400
2024.10.22	Debrecen, Határ u. 22.	Debrecen I. 1 Debrecen I. 2 /Debrecen technikai/	323	12 507	3 474,180
2024.10.24	Kóka, Körtefa út 8.	Zsámbok 2	366	14 172	3 936,700
2024.10.25	Farkaslyuk, Ötház út 1.	Ózd I-1+II	48	1 859	516,290
2024.10.25	Solymár, Széles út 7000 hrsz	Pilisvörösvár + Solymárvölgy 1-2	258	9 990	2 775,050
2024.10.28	Szigetcsép, Fő u. hrsz.:627/4.	Tököl	306	11 849	3 291,340
2024.10.29	Patak, Alkotmány u. 32.	Érsekvadkert	25	8 528	2 368,900
2024.10.29	Eger, Károlyi M. 8/a	Eger I-II	5	194	53,780
2024.10.30	Ibrány, Alkotmány u. 28.	Ibrány	12	465	129,070
2024.11.04	Szolnok, Paprika u. 16.	Szolnok	345	13 359	3 710,820
2024.11.05	Göd, Zrínyi-Mayerffy út	Szód	116	4 492	1 247,700

2024.11.07	Berekböszörmény, Felszabadulás u. 38.	Mezősas	10	387	107,560
2024.11.07	Pásztó, Mátraszőlősi u. 1/A	Pásztó 1.	342	13 243	3 678,550
2024.11.09	Erk, Kassai u. 26.	Jászdózsa	153	5 924	1 645,670
2024.11.12	Hercegkút, Petőfi út 164. (szmeben)	Sárospatak	55	2 130	591,580
2024.11.13	Debrecen, Határ u. 84.	Debrecen I. 1 Debrecen I. 2 /Debrecen technikai/	197	7 628	2 118,930
2024.11.13	Monor, Czuczor G. út 20.	Monor	869	33 649	9 346,960
2024.11.13	Sáránd, Holló J. u.	Sáránd	2	77	21,390
2024.11.14	Tiszabercel, Vásártér u. 96.	Ibrány	396	15 411	4 280,880
2024.11.17	Balkány, Adonyi 9.	Balkány	151	5 847	1 624,150
2024.11.17	Balmazújváros, Halász u. 7	Balmazújváros	2	77	21,510
2024.11.19	Debrecen, Walla u. 0495/268	Debrecen I. 1 Debrecen I. 2 /Debrecen technikai/	647	25 053	6 959,130
2024.11.21	Üllő, Árvácska út 16.	Vecsés	14	542	150,580
2024.11.22	Dunaharaszti-Taksony, 510-es főút	Soroksár 1-2	959	37 134	10 315,000
2024.11.25	Szár, Akácfa út 883/2 hrsz	Zsámbék	61	2 362	656,110
2024.11.25	Sátoraljaújhely, Völgy út 3.	Sárospatak	137	5 305	1 473,570
2024.11.25	Encs, Dózsa Gy. út 48.	Abaújkér	50	1 936	537,800
2024.11.26	Jósvafő, Dózsa Gy. út 8.	Rudabánya	9	348	96,800
2024.11.27	Nagyecséd, 0176/14 hrsz.	Győrtelek 1+2	4	155	43,024

2024.11.28	Nagykerekéi, Petőfi u. 80.	Mezősas	107	4 143	1 150,890
2024.11.30	Cegléd, Téglagyári u. 48.	Cegléd I+II	21	813	225,880
2024.12.02	Csévharaszt, József A. út 5.	Monor	14	542	150,580
2024.12.02	Tiszavasvári, Deák F. u.	Tiszavasvári	777	30 087	8 357,410
2024.12.04	Jászberény, Tóth J. u. 41.	Jászberény	641	24 821	6 894,600
2024.12.05	Vaja, Külterület 0145/6hrsz.	Őr	32	1 239	344,192
2024.12.05	Rétság, Takaré u. 54.	Rétság	31	1 200	333,440
2024.12.05	Hercegkút, Petőfi út 103.	Sárospatak	55	2 130	591,580
2024.12.06	Bánk, Jázmin u. 89.	Rétság	63	2 439	677,630
2024.12.06	Mezőcsát, Mónika út 19.	Mezőcsát	12	465	129,070
2024.12.06	Nagykerekéi, Petőfi u. 42.	Mezősas	11	426	118,310
2024.12.08	Mátraderecske, Nagy Lajos út	Mátraderecske	613	23 736	6 593,430
2024.12.09	Verpelét, Rákóczi út 2.	Eger I-II	14	542	150,580
2024.12.10	Aszód, Pest út 27. (Gavit telep	Hatvan	85	3 291	914,260
2024.12.11	Érd, Bem köz	Százhalombatta I-5-1	773	29 932	8 314,390
2024.12.11	Pomáz, Kiskovácsi 0311/1 hrsz	Szentendre 2	376	14 559	4 044,260
2024.12.16	Vaja, Külterület 0145/6hrsz.	Őr	1	39	10,756
2024.12.18	Nyíregyháza, Korányi u. 278.	Nyírtelek I.,III., Nyíregyháza I.- II.	45	1 742	484,020

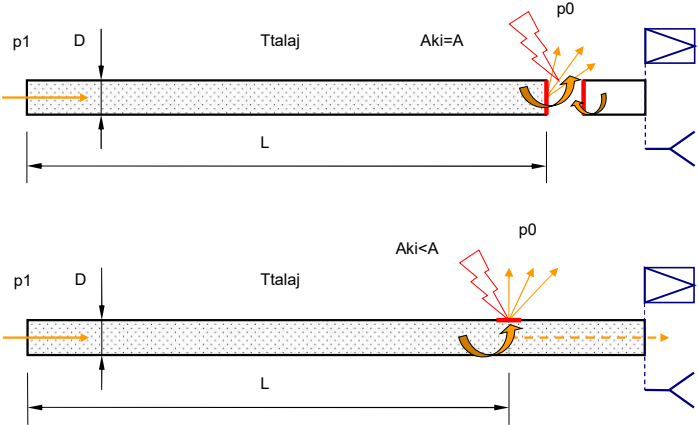
2024.12.19	Gyál, Kisfaludy u.	Gyál	410	15 876	4 409,960
2024.12.21	Miskolc, Pesti út Autómosó	Miskolc I+II-3+II-4	818	31 674	8 798,410
2024.12.28	Erdőbénye, Kossuth út 28.	Szerencs	299	11 578	3 216,040
Vezetékrongálásokból származó metánkibocsátás:			81 455	(m ³ /év)	
Vezetékrongálásból származó metánkibocsátás - átváltás:			58,39	(tonna/év)	
CH ₄ emissions in CO ₂ e (AR5-100):			1 634,83	(tonna/év)	

Bemenő adatok

2025.08.04 8:19

Sugaras hálózat, korlátlan utánpótlással			Állandók		Az egyes komponensek figyelembe vett értékei								
Kiáramlás hangsebesség alatt vagy hangsebességgel Teljes vagy a teljes keresztmetszettől kisebb kiáramlási felület			$R_g = #####$ J/kmolK $M_{lev} = 28,963$ kg/kmol $Z_{lev} = 0,9994$ $\rho_{lev} = 1,2929$ kg/m ³		Fizikai normállapotban (0 °C és 1013,25 mbar)								
Kiindulási összetételek A FŐMODULból átvett összetétel			Komponens		Képlet	Móláris tömeg [1] M_i kg/kmol	Móltérfogat [2] V_i m ³ /kmol	Sűrűség [1][2] ρ_i kg/m ³	Kompressziós tényező [1] Z	Összegzési tényező [1] (b) ^{1/2}	Fajhő 1013,25 mbar 0 °C [3] c_p kJ/kgK c_v kJ/kgK	Izentrópikus kitevő [3] κ	Dinamikai viszkozitási tényező [4] μ Ns/m ²
Komponensek			Összetétel mól%										
Metán	CH ₄	98,00%	Metán	CH ₄	16,043	22,3600	0,7175	0,9976	0,0490	2,156	1,638	1,316	0,00001035
Etán	C ₂ H ₆	1,00%	Etán	C ₂ H ₆	30,070	22,1875	1,3553	0,9900	0,1000	1,729	1,453	1,190	0,00000855
Propán	C ₃ H ₈	0,00%	Propán	C ₃ H ₈	44,097	21,9297	2,0108	0,9789	0,1453	1,549	1,361	1,138	0,00000750
i-Bután	C ₄ H ₁₀	0,00%	i-Bután	C ₄ H ₁₀	58,123	21,6159	2,6889	0,9580	0,2049	1,599	1,456	1,098	0,00000680
n-Bután	C ₄ H ₁₀	0,00%	n-Bután	C ₄ H ₁₀	58,123	21,5195	2,7009	0,9572	0,2069	1,599	1,456	1,098	0,00000680
i-Pentán	C ₅ H ₁₂	0,00%	i-Pentán	C ₅ H ₁₂	72,150	21,0556	3,4266	0,9370	0,2510	1,599	1,484	1,077	0,00000620
n-Pentán	C ₅ H ₁₂	0,00%	n-Pentán	C ₅ H ₁₂	72,150	20,8874	3,4542	0,9180	0,2864	1,599	1,484	1,077	0,00000620
Hexán +	C ₆ +	0,00%	n-Heptán C ₆ +	C ₇ H ₁₆	100,204	20,5000	4,8880	0,8300	0,4123	1,608	1,512	1,063	0,00000717
Szén-dioxid	CO ₂	1,00%	Szén-dioxid	CO ₂	44,010	22,2569	1,9774	0,9933	0,0819	0,817	0,628	1,301	0,00001382
Nitrogén	N ₂	0,00%	Nitrogén	N ₂	28,014	22,4049	1,2503	0,9995	0,0224	1,039	0,742	1,400	0,00001660
Összesen:			100,00%		Adatforrás:								
üzemvezető			[1] MSZ ISO 6976: 1997. A hőérték, a sűrűség, a relatív sűrűség és a Wobbe-szám számítása a gázösszetételből [2] N.V. Nederlandse Gasunie: Physical properties of natural gases; 1980. [3] G. Cerbe: Grundlagen der gastechnik; Carl Hanser Verlag München Vln, 2004, ISBN 3-446-22803-9 [4] Meszléry C.: Gáztechnikai példatár; Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1978, ISBN 963 10 2184 X [5] Bobok E.: Áramlástan, Miskolci Egyetemi Kiadó, 1997. [6] Wilkinson, J.V.-Holliday, D.V.-Batey, E.R. (1964): Analytic solution for gas flow; Pipe Line Industry, 11.										

Számított értékek A reális gáz anyag- és állapotjelzői			Megjegyzés	
Móláris tömeg ($M_{gáz}$):	16,4629	kg/kmol		
Kompressziós tényező (z):	0,9975		0 °C; 1013,25 mbar [1]	
Kompressziós tényező (z):	0,9975		T_{gazeq} ; p_1 (Wilkinson összefüggés) [6]	
Relatív sűrűség (d):	0,5695		0 °C; 1013,25 mbar	
Sűrűség ($\rho_{gáz}$):	0,7363	kg/m ³	0 °C; 1013,25 mbar	
Állandó nyomáson vett fajhő ($c_{p,kev}$):	2,1126	kJ/kgK	0 °C	
Állandó térfogaton vett fajhő ($c_{v,kev}$):	1,6078	kJ/kgK	0 °C	
Izentrópikus kitevő (κ):	1,3140		0 °C	
Dinamikai viszkozitási tényező (μ):	0,000010	Ns/m ²	0 °C (Herning & Zipperer) [2]	
A gázkeverékre jell. techn. gázáll. (R_g):	505,0441	J/kgK	0 °C	
A gázra jellemző hangsebesség (a_0):	429,6334	m/s	(Talajhőmérsékleten) [5]	
A gázra jell. kritikus hangsebesség (a^*):	399,4234	m/s	(Talajhőmérsékleten) [5]	
A vezeték névleges túlnyomása (p_1):	0,03	bar	(A kezdőpontban)	
A vezeték abszolút nyomása (p_1):	105 000	Pa	(A kezdőpontban)	
Barometrikus nyomás (p_0):	102 300	Pa		
A gáz hőmérséklete (T_1):	278,15	K	(Talajhőmérséklet)	
A vezeték belső átmérője (D):	0,10	m		
A vezeték érdessége (κ):	0,00003	m		
Vezeték hossz a szakadásig (L):	480	m	(Az állandó nyomású ponttól)	
A vezeték keresztmetszete (A):	0,0075	m ²	75 cm ²	
A kiáramlási keresztmetszet (A_3):	0,0075	m ²		
A kiömlő- és a vezeték keresztmetszetek aránya (A_3/A_1):	100	%		
A kiömlés időtartama (t):	4 620	sec		



Sugaras hálózat korlátlan utánpótlással, kiáramlás a hangsebesség alatt a kiömlési keresztmetszet egyenlő vagy nagyobb a cső keresztmetszeténél

A kezdőpont sűrűsége (ρ_1):	0,7493 kg/m ³	(Üzemállapotban)
λ_1 =	0,0300	
λ_2 =	0,0207	
λ_3 =	0,0214	
λ_4 =	0,0214	
λ_5 =	0,0214	
A csősúrlódási tényező (λ):	0,0214	(Állandó) Colebrookkal
A Reynolds-szám (Re):	57 755	(Állandó)
A kezdőpont sebessége (c_1):	8,22 m/s	
A kiömlés sebessége (c_k):	8,43 m/s	
A kiömlés tényleges sebessége:	8,43 m/s	A KIÁRAMLÁS HANGSEBESSÉG ALATT!
A kiömlő térfogatáram (Q_n):	0,0623 m ³ /s	(Fizikai normálállapotban)
	224,27 m ³ /h	(Fizikai normálállapotban)
	236,58 m ³ /h	(Gáztechnikai normálállapotban)
A kiömlő gázmennyiség (V_n):	304 m ³	(Gáztechnikai normálállapotban)
A kiömlő gázmennyiség maximuma a hiba elhárításáig ($A_{ki}>A_{teljes}$):	304 m³	(Gáztechnikai normálállapotban)

Sugaras hálózat korlátlan utánpótlással, kiáramlás a hangsebesség alatt a kiömlési keresztmetszet kisebb a cső teljes keresztmetszetétől

Szűkítésből adódó egyenértékű csőhossz (L_e):	0 m	(Empirikus formula)
A kiömlő- és a vezeték keresztmetszet aránya (A_3/A_1):	100,00 %	
A kezdőpont sűrűsége (ρ_1):	0,7493 kg/m ³	(Üzemállapotban)
λ_1 =	0,0300	
λ_2 =	0,0207	
λ_3 =	0,0214	
λ_4 =	0,0214	
λ_5 =	0,0214	
A csősúrlódási tényező (λ):	0,0214	(Állandó) Colebrookkal
A Reynolds-szám (Re):	57 755	(Állandó)
A kezdőpont sebessége ($L+L_e$) esetén (c_1):	8,22 m/s	
A kiömlés sebessége ($L+L_e$) esetén (c_k):	8,43 m/s	
A kiömlő térfogatáram ($L+L_e$) esetén (Q_n):	0,0623 m ³ /s	(Fizikai normálállapotban)
	224,27 m ³ /h	(Fizikai normálállapotban)
	236,58 m ³ /h	(Gáztechnikai normálállapotban)
A kiömlő gázmennyiség (V_n):	304 m ³	(Gáztechnikai normálállapotban)
Az $A_{ki}<A_{teljes}$ szakítási keresztmetszeten kiömlő gázmennyiség az elhárításig:	304 m³	(Gáztechnikai normálállapotban)

$$\rho_1 = \frac{p_1 \cdot M_{gáz}}{z_1 \cdot R_u \cdot T_1} \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \cdot \lg \left[\frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{\lambda}} + \frac{k}{3,715D} \right] \quad Re = \frac{c_1 D \rho_1}{\mu}$$

$$L_e = 4800 \cdot \left(\frac{A_3}{A_2} - 1 \right)^2 \text{ [m]}$$

$$c_1 = \sqrt{\frac{\left(\frac{p_0}{p_1} \right)^2 - 1}{\frac{p_1}{p_1} \left[\ln \left(\frac{p_0}{p_1} \right)^2 - \lambda \frac{L}{D} \right]}} \text{ [m/s]}$$

$$c_1 = \sqrt{\frac{\left(\frac{p_0}{p_1} \right)^2 - 1}{\frac{p_1}{p_1} \left[\ln \left(\frac{p_0}{p_1} \right)^2 - \lambda \frac{L + L_e}{D} \right]}} \text{ [m/s]}$$

$$c_{ki} = \frac{p_1}{p_0} \sqrt{\frac{\left(\frac{p_0}{p_1} \right)^2 - 1}{\frac{p_1}{p_1} \left[\ln \left(\frac{p_0}{p_1} \right)^2 - \lambda \frac{L}{D} \right]}} \text{ [m/s]}$$

$$c_{ki} = \frac{p_1}{p_0} c_1$$

$$Q_N = \sqrt{\frac{\left(\frac{p_0}{p_1} \right)^2 - 1}{\left(\frac{4}{\pi} \right)^2 \left(\frac{p_N}{T_N} \right)^2 \frac{M_{gáz}}{z R_u} \frac{T_1}{D^4 p_1^2} \left[\ln \left(\frac{p_0}{p_1} \right)^2 - \lambda \frac{L}{D} \right]}} \text{ [m}^3\text{/s]} \quad Q_N = \sqrt{\frac{\left(\frac{p_0}{p_1} \right)^2 - 1}{\left(\frac{4}{\pi} \right)^2 \left(\frac{p_N}{T_N} \right)^2 \frac{M_{gáz}}{z R_u} \frac{T_1^2}{D^4 p_1^2} \left[\ln \left(\frac{p_0}{p_1} \right)^2 - \lambda \frac{L + L_e}{D} \right]}} \text{ [m}^3\text{/s]}$$

$$V_n(15^\circ \text{C}; 1013,25 \text{ m bar}) = Q_n(0^\circ \text{C}; 1013,25 \text{ m bar}) \cdot \frac{288,15}{273,15} \cdot t \text{ [m}^3\text{]}$$

Sugaras hálózat korlátlan utánpótlással, kiáramlás hangsebességgel a kiömlési keresztmetszet egyenlő vagy nagyobb a cső keresztmetszeténél

A kezdőpont sűrűsége (ρ_1):	0,7493 kg/m ³	(Üzemállapotban)
A kezdőpont sebessége (c_1):	8,22 m/s	(Állandó, előző blokkból)
A kiömlési sebessége ($c_k=a^*$):	399,42 m/s	A KIÁRAMLÁS HANGSEBESSÉG ALATTI SZÁMÍTÁS AZ ELŐZŐ BLOKK ALAPJÁN!
Az L hosszhoz tartozó Mach-szám (M_1):	0,083	(‘1. Mach szám’ munkafüzet lapból)
A kiömlő térfogatáram (Q_N):	0,2707 m ³ /s	(Fizikai normálállapotban)
	974,59 m ³ /h	(Fizikai normálállapotban)
	1 028,11 m ³ /h	(Gáztechnikai normálállapotban)
A kiömlött gázmenyiség (V_N):	1 319 m ³	(Gáztechnikai normálállapotban)
A kiömlő gázmenyiség maximuma a hiba elhárításáig ($A_{ki}>A_{teljes}$):	!cki<a* m ³	(Gáztechnikai normálállapotban)

Sugaras hálózat korlátlan utánpótlással, kiáramlás hangsebességgel a kiömlési keresztmetszet kisebb a cső teljes keresztmetszetétől

A kiömlő- és a vezeték keresztmetszet aránya (A_3/A_1):	100,00 %	
Mach-szám közvetlenül a kiömlés előtt (M_2):	1,000	(‘1. Mach szám’ munkafüzet lapból)
Módosult Mach-szám a kezdeti pontban (M'_1):	0,083	(‘1. Mach szám’ munkafüzet lapból)
A kiömlő térfogatáram (Q_N):	0,2707 m ³ /s	(Fizikai normálállapotban)
	974,59 m ³ /h	(Fizikai normálállapotban)
	1 028,11 m ³ /h	(Gáztechnikai normálállapotban)
A kiömlött gázmenyiség (V_N):	1 319 m ³	(Gáztechnikai normálállapotban)
Az $A_{ki}<A_{teljes}$ szakítási keresztmetszeten kiömlött gázmenyiség az elhárításig:	!cki<a* m ³	(Gáztechnikai normálállapotban)

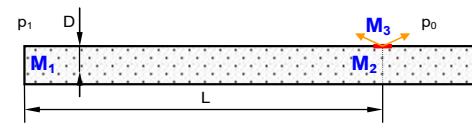
A meghibásodás ideje alatt kiáramlott gázmenyiség gáztechnikai normálállapotban

A kiömlő gázmenyiség maximuma a hiba elhárításáig ($A_{ki}>A_{teljes}$):	304 m ³	(Gáztechnikai normálállapotban)
Az $A_{ki}<A_{teljes}$ szakítási keresztmetszeten kiömlött gázmenyiség az elhárításig:	304 m ³	(Gáztechnikai normálállapotban)

$$\rho_1 = \frac{p_1 \cdot M_{\text{gáz}}}{z_1 \cdot R_u \cdot T_1} \quad [\text{kg/m}^3]$$

$$\lambda \frac{L}{D} = \frac{1}{\kappa} \left[\frac{1-M^2}{M^2} + \frac{\kappa+1}{2} \ln \frac{\frac{\kappa+1}{2} M^2}{\frac{\kappa-1}{2} M^2 + 1} \right]$$

$$Q_N = \frac{D^2 \pi}{4} \frac{p_1}{p_N} \cdot \frac{T_N}{T_1} \frac{M_1}{z_1} \sqrt{\frac{\kappa R_u z_1 T_1}{M_{\text{gáz}}}} \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$



$$\frac{A_2}{A_3} = \frac{1}{M_2} \left(\frac{2}{\kappa+1} + \frac{\kappa-1}{\kappa+1} M_2^2 \right)^{\frac{\kappa+1}{2(\kappa-1)}}$$

$$\lambda \frac{L}{D} = \frac{1}{\kappa} \left[\frac{M_2^2 - M_1'^2}{M_1'^2 M_2^2} + \frac{\kappa+1}{2} \ln \frac{M_1'^2 \frac{\kappa-1}{2} M_2^2 + 1}{\frac{\kappa-1}{2} M_1'^2 + 1} \right]$$

$$Q_N = \frac{D^2 \pi}{4} \frac{p_1}{T_1} \frac{T_N}{p_N} \frac{M_1}{z_1} \sqrt{\frac{\kappa z_1 R_u T_1}{M_{\text{gáz}}}} \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

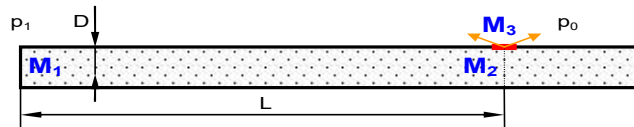
A Mach-szám számítása

Segédszámítás az '1. Sugaras, korlátlan' munkafüzet laphoz

A Mach-szám számításához szükséges adatok

Megjegyzés

A vezeték belső átmérője (D):	0,10 m	
Izentrópus kitevő (κ):	1,3140	(Állandó, előző munkalapról)
Sűrűlási tényező (λ):	0,0214	(Állandó, Colebrook formulával számítva, előző munkalapról)
Vezeték hossz a szakadásig (L):	480 m	(Az állandó nyomású ponttól)
Kapott Mach szám (M ₁):	0,083	(Teljes keresztmetszeten történő kiáramlás esetén érvényes)
A vezeték keresztmetszete (A):	0,0075 m ²	
A kiáramlási keresztmetszet (A ₃):	0,0075 m ²	
A/A ₃ :	1,000	
Kapott Mach szám (M ₂):	1,000	(Közvetlenül a csökkent keresztmetszet előtti teljes keresztmetszeten érvényes)
Kapott Mach szám (M' ₁):	0,083	(A keresztmetszet csökkenés miatt módosuló Mach-szám a kezdőpontban)

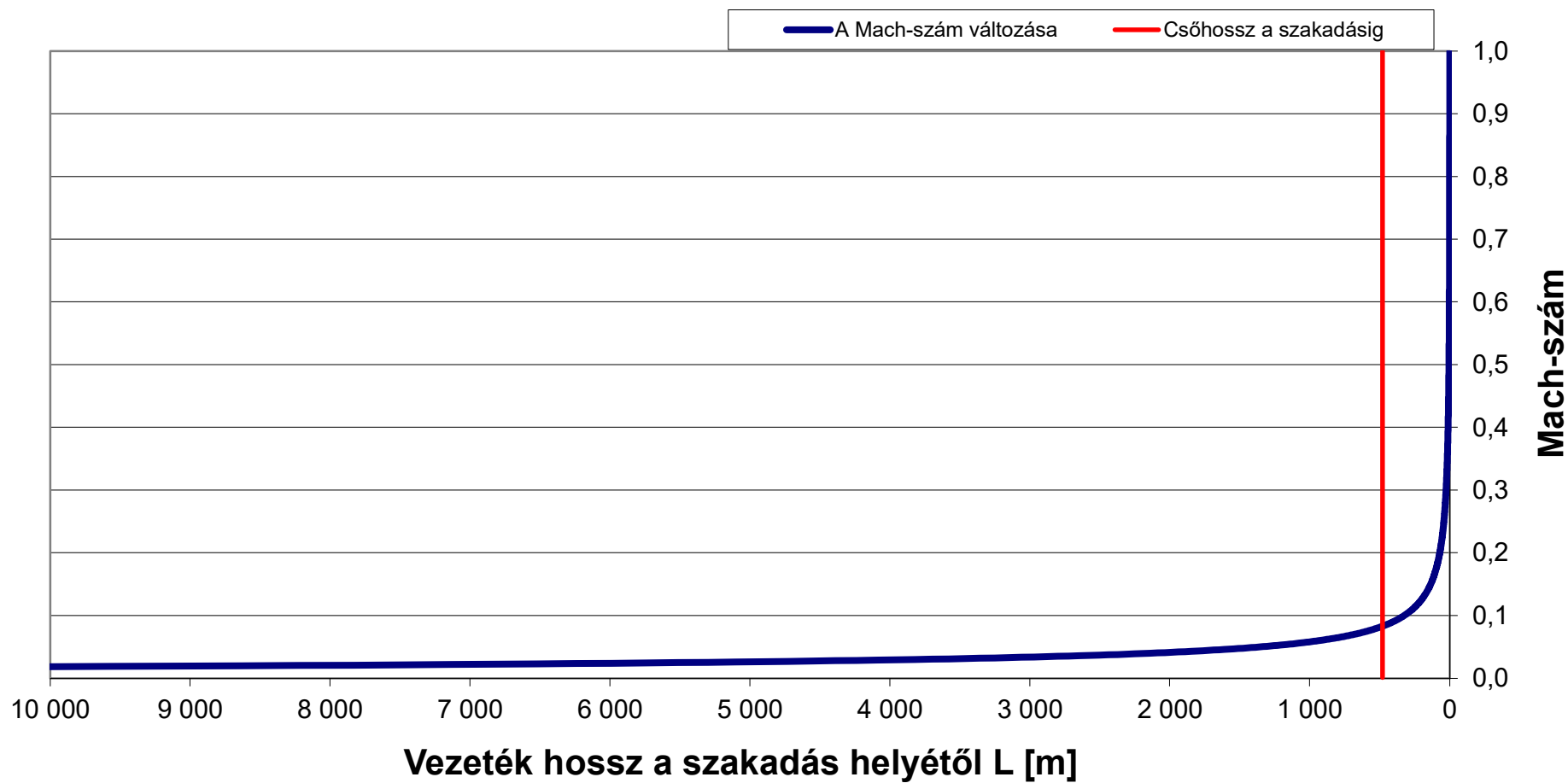


$$\lambda \frac{L}{D} = \frac{1}{\kappa} \left[\frac{1 - M^2}{M^2} + \frac{\kappa + 1}{2} \ln \frac{\frac{\kappa + 1}{2} M^2}{\frac{\kappa - 1}{2} M^2 + 1} \right]$$

$$\frac{A_2}{A_3} = \frac{1}{M_2} \left(\frac{2}{\kappa + 1} + \frac{\kappa - 1}{\kappa + 1} M_2^2 \right)^{\frac{\kappa + 1}{2(\kappa - 1)}}$$

$$\lambda \frac{L}{D} = \frac{1}{\kappa} \left[\frac{M_2^2 - M_1'^2}{M_1'^2 M_2^2} + \frac{\kappa + 1}{2} \ln \frac{M_1'^2}{M_2^2} \frac{\frac{\kappa - 1}{2} M_2^2 + 1}{\frac{\kappa - 1}{2} M_1'^2 + 1} \right]$$

A Mach-szám (M_1) változása teljes keresztmetszeten történő kiömlés esetén

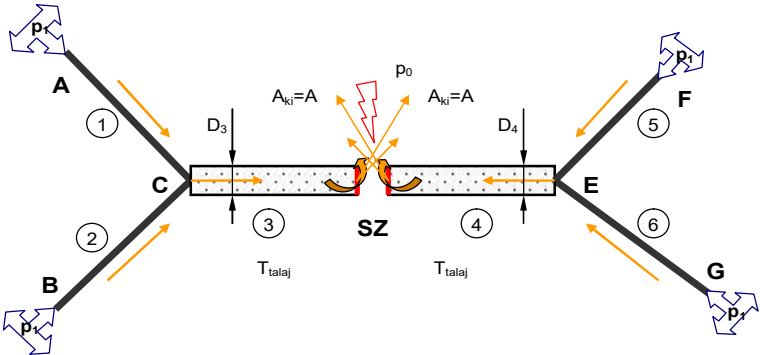


Sugaras hálózat, nincs utánpótlás			Állandók		Az egyes komponensek figyelembe vett értékei								
Teljes, vagy teljes keresztmetszettől kisebb kiáramlási felület			$R_g = 8\,314,51\text{ J/kmolK}$ $M_{leg} = 28,9626\text{ kg/kmol}$ $z_{leg} = 0,99941$ $\rho_{leg} = 1,29292\text{ kg/m}^3$		Fizikai normálállapotban (0 °C és 1013,25 mbar)								
Kiindulási összetételek A FŐMODULból átvett összetételei			Komponens	Képlet	Moláris tömeg [1] M_i kg/kmol	Móltérfogat [2] V_i m ³ /kmol	Sűrűség [1] [2] ρ_i kg/m ³	Kompressziós tényező [1] z	Összegzési tényező [1] (b) ^{1/2}	Fajhő 1013,25 mbar 0 °C [3]		Izentrópikus kitevő [3] κ	Dinamikai viszkozitási tényező [4] μ Ns/m ²
	Összetétel mól%	c_p kJ/kgK								c_v kJ/kgK			
Metán	CH ₄	98,00%	Metán	CH ₄	16,043	22,3600	0,7175	0,9976	0,0490	2,156	1,638	1,316	0,00001035
Etán	C ₂ H ₆	1,00%	Etán	C ₂ H ₆	30,070	22,1875	1,3553	0,9900	0,1000	1,729	1,453	1,190	0,00000855
Propán	C ₃ H ₈	0,00%	Propán	C ₃ H ₈	44,097	21,9297	2,0108	0,9789	0,1453	1,549	1,361	1,138	0,00000750
i-Bután	C ₄ H ₁₀	0,00%	i-Bután	C ₄ H ₁₀	58,123	21,6159	2,6889	0,9580	0,2049	1,599	1,456	1,098	0,00000680
n-Bután	C ₄ H ₁₀	0,00%	n-Bután	C ₄ H ₁₀	58,123	21,5195	2,7009	0,9572	0,2069	1,599	1,456	1,098	0,00000680
i-Pentán	C ₅ H ₁₂	0,00%	i-Pentán	C ₅ H ₁₂	72,150	21,0556	3,4266	0,9370	0,2510	1,599	1,484	1,077	0,00000620
n-Pentán	C ₅ H ₁₂	0,00%	n-Pentán	C ₅ H ₁₂	72,150	20,8874	3,4542	0,9180	0,2864	1,599	1,484	1,077	0,00000620
Hexán +	C ₆ +	0,00%	n-Heptán C ₆ +	C ₇ H ₁₆	100,204	20,5000	4,8880	0,8300	0,4123	1,608	1,512	1,063	0,00000717
Szén-dioxid	CO ₂	1,00%	Szén-dioxid	CO ₂	44,010	22,2569	1,9774	0,9933	0,0819	0,817	0,628	1,301	0,00001382
Nitrogén	N ₂	0,00%	Nitrogén	N ₂	28,014	22,4049	1,2503	0,9995	0,0224	1,039	0,742	1,400	0,00001660
Összesen:		100,00%											
üzemvezető			Adatforrás: [1] MSZ ISO 6976: 1997. A hőérték, a sűrűség, a relatív sűrűség és a Wobbe-szám számítása a gázösszetételből [2] N.V. Nederlandse Gasunie: Physical properties of natural gases; 1980. [3] G. Cerbe: Grundlagen der gastechnik; Carl Hanser Verlag München Vien, 2004, ISBN 3-446-22803-9 [4] Meszéry C.: Gástechnikai példatár; Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1978, ISBN 963 10 2184 X [5] Bobok E.: Áramlástan, Miskolci Egyetemi Kiadó, 1997. [6] Wilkinson, J.V.-Holliday, D.V.-Batey, E.R. (1964): Analytic solution for gas flow; Pipe Line Industry, 11.										
Számított értékek A reális gáz anyag- és állapotjelzői			Megjegyzés										
Moláris tömeg ($M_{gáz}$):			16,4629 kg/kmol										
Kompressziós tényező (z):			0 °C; 1013,25 mbar [1]										
Kompressziós tényező (z):			0,9975										
Relatív sűrűség (d):			0 °C; 1013,25 mbar										
Sűrűség ($\rho_{gáz}$):			0 °C; 1013,25 mbar										
Állandó nyomáson vett fajhő ($c_{p,kev}$):			0 °C										
Állandó térfogaton vett fajhő ($c_{v,kev}$):			0 °C										
Izentrópikus kitevő (κ):			0 °C										
Dinamikai viszkozitási tényező (μ):			0 °C (Herning & Zipperer) [2]										
A gázkeverékre jellemző techn. gázáll. (R_g):			0 °C										
A gázra jellemző hangsebesség (a_0):			(Talajhőmérsékleten) [5]										
A gázra jellemző kritikus hangsebesség (a^*):			(Talajhőmérsékleten) [5]										
A vezeték névleges túlnyomása (p_1):			(A kezdőpontban)										
A vezeték abszolút nyomása (p_1):			(A kezdőpontban)										
Barometrikus nyomás (p_0):													
A gáz hőmérséklete (T_1):			(Talajhőmérséklet)										
A vezeték belső átmérője (D):													
A vezeték érdessége (k):													
Vezeték hossz a szakadásig (L):			(Az állandó nyomású ponttól)										
A vezeték keresztmetszete (A):			75 cm ²										
A kiáramlási keresztmetszet (A_3):													
A kiömlő- és a vezeték keresztmetszetek aránya (A_3/A):			0,00 %										
A kiömlés időtartama (t):			4 620 sec										

Sugaras hálózat korlátozott utánpótlással, a kiömlési kersztmetszet kisebb, egyenlő vagy nagyobb a cső keresztmetszeténél		
Szűkítésből adódó egyenértékű csőhossz (L _u):	0 m	(Empirikus formula)
A kezdőpont sűrűsége (ρ ₁):	0,7493 kg/m ³	(Kezdeti állapotban)
λ ₁ =	0,0300	
λ ₂ =	0,0207	
λ ₃ =	0,0214	
λ ₄ =	0,0214	
λ ₅ =	0,0214	
A csősúrlódási tényező (λ):	0,0214	(Jó közelítéssel állandó) Colebrookkal
A Reynolds-szám (Re):	57 755	(Jó közelítéssel állandó)
A kezdőpont sebessége t ⁽⁰⁾ -ban (c ₁):	8,22 m/s	(L+L _e) értékkel számítva
Maximálisan kiömlhető gázmennyiség:	2,6799 kg	(A csővezetékben lévő gáz tömege t ⁽⁰⁾ -ban)
	3,6396 m ³	(Fizikai normálállapotban)
A "K" állandó értéke:	265 872,08 x 10 ⁶	
Időköz:	30 sec	
A vezeték teljes leürülési ideje (t):	0,5 perc	A vezeték teljesen leürül!
A kiömlhető gázmennyiség maximuma a hiba elhárításáig (m _{max}):	2,68 kg	
A gáz sűrűsége p ₀ környezeti nyomáson (ρ _i):	0,7300 kg/m ³	(Talajhőmérsékleten)
A vezetékben maradt gázmenyiség (m):	2,61 kg	
A kiömlött gázmennyiség a hiba elhárításáig:	0,07 kg	(Ha az elhárítás ideje rövidebb a teljes leürülési időnél, az eredmény a teljes tömeg - a maradék tömeg; ellenkező esetben a teljes tömeg - p ₀ nyomású gáztömeg)
	0,09 m³	(Fizikai normálállapotban)
	0 m³	(Gáztechnikai normálállapotban)

$$m_1 = \frac{D^2 \pi}{4} \cdot L \cdot \rho_1 \text{ [kg]}$$
$$\rho_1 = \frac{p_1 \cdot M_{\text{gáz}}}{z_1 \cdot R_u \cdot T_1} \text{ [kg/m}^3\text{]}$$
$$\dot{m} = \sqrt{\frac{p_{1(i)}^2 - p_0^2}{\lambda \cdot \frac{L + L_e}{D^5} \left(\frac{4}{\pi}\right)^2 \cdot \frac{z \cdot R_u \cdot T_1}{M_{\text{gáz}}}}} \text{ [kg/s]}$$
$$p_{1(i)} = p_{1(i-1)} \cdot \frac{m_{i-1} - \dot{m}_i \Delta t}{m_{i-1}} \text{ [Pa]}$$
$$L_e = 4800 \cdot \left(\frac{A_3}{A_2} - 1\right)^2 \text{ [m]}$$
$$K = \lambda \cdot \frac{L + L_e}{D^5} \cdot \left(\frac{4}{\pi}\right)^2 \cdot \frac{z \cdot R_u \cdot T_1}{M_{\text{gáz}}}$$

Hurkolt hálózat, korlátlan utánpótlással			Állandók			Az egyes komponensek figyelembe vett értékei											
Kiáramlás hangsebesség alatt vagy hangsebességgel Teljes vagy teljes keresztmetszettől kisebb kiáramlási felület			$R_u=$ 8 314,51 J/kmolK $M_{lev}=$ 28,9626 kg/kmol $Z_{lev}=$ 0,99941 $\rho_{lev}=$ 1,292923 kg/m ³			Fizikai normálállapotban (0 °C és 1013,25 mbar)											
Kiindulási összetételek A FÓMODULból átvett összetétel			Komponens		Képlet	Moláris tömeg [1] M_i kg/kmol	Móltérfogat [2] V_i m ³ /kmol	Sűrűség [1] [2] ρ_i kg/m ³	Kompressziós tényező [1] Z	Összegzési tényező [1] $(b_i)^{1/2}$	Fajhő 1013,25 mbar 0 °C [3] c_p c_v kJ/kgK kJ/kgK		Izentrópikus kitévő [3] κ	Dinamikai viszkozitási tényező [4] μ Ns/m ²			
			Metán		CH ₄	16,043	22,3600	0,7175	0,9976	0,0490	2,156	1,638	1,316	0,00001035			
			Etán		C ₂ H ₆	30,070	22,1875	1,3553	0,9900	0,1000	1,729	1,453	1,190	0,00000855			
			Propán		C ₃ H ₈	44,097	21,9297	2,0108	0,9789	0,1453	1,549	1,361	1,138	0,00000750			
			i-Bután		C ₄ H ₁₀	58,123	21,6159	2,6889	0,9580	0,2049	1,599	1,456	1,098	0,00000680			
			n-Bután		C ₄ H ₁₀	58,123	21,5195	2,7009	0,9572	0,2069	1,599	1,456	1,098	0,00000680			
			i-Pentán		C ₅ H ₁₂	72,150	21,0556	3,4266	0,9370	0,2510	1,599	1,484	1,077	0,00000620			
			n-Pentán		C ₅ H ₁₂	72,150	20,8874	3,4542	0,9180	0,2864	1,599	1,484	1,077	0,00000620			
			n-Heptán C ₇₊		C ₇ H ₁₆	100,204	20,5000	4,8880	0,8300	0,4123	1,608	1,512	1,063	0,00000717			
			Szén-dioxid		CO ₂	44,010	22,2569	1,9774	0,9933	0,0819	0,817	0,628	1,301	0,00001382			
			Nitrogén		N ₂	28,014	22,4049	1,2503	0,9995	0,0224	1,039	0,742	1,400	0,00001660			
			Adatforrás:														
			[1] MSZ ISO 6976: 1997. A hőérték, a sűrűség, a relatív sűrűség és a Wobbe-szám számítása a gázösszetételből														
			[2] N.V. Nederlandse Gasunie: Physical properties of natural gases; 1980.														
			[3] G. Cerbe: Grundlagen der gasteknik; Carl Hanser Verlag München Vien, 2004, ISBN 3-446-22803-9														
			[4] Meszléry C.: Gáztéchnikai példatár; Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1978, ISBN 963 10 2184 X														
			[5] Bobok E.: Áramlástan, Miskolci Egyetemi Kiadó, 1997.														
			[6] Wilkinson, J.V.-Holliday, D.V.-Batey, E.R. (1964): Analytic solution for gas flow; Pipe Line Industry, 11.														
üzemvezető																	
Számított értékek																	
A reális gáz anyag- és állapotjelzői			Megjegyzés														
Moláris tömeg ($M_{gáz}$):			16,4629 kg/kmol														
Kompressziós tényező (z):			0 °C; 1013,25 mbar [1]														
Kompressziós tényező (z):			T _{üzemi} ; P ₁ (Wilkinson összefüggés) [6]														
Relatív sűrűség (d):			0 °C; 1013,25 mbar														
Sűrűsége ($\rho_{gáz}$):			0 °C; 1013,25 mbar														
Állandó nyomáson vett fajhő ($c_{p,kev}$):			0 °C														
Állandó térfogaton vett fajhő ($c_{v,kev}$):			0 °C														
Izentrópikus kitévője:			0 °C														
Dinamikai viszkozitási tényező (μ):			0 °C (Herning & Zipperer) [2]														
A gázkeverékre jell. techn. gázáll. (R_g):			0 °C														
A gázra jellemző hangsebesség (a_0):			(Talajhőmérsékleten) [5]														
A gázra jell. kritikus hangsebesség (a^*):			(Talajhőmérsékleten) [5]														
A hálózat névleges túlnyomása (p_{hi}):			(A kezdőpontokban)														
A hálózat abszolút nyomása (p_{hi}):			(A kezdőpontokban)														
Barometrikus nyomás (p_0):																	
A gáz hőmérséklete (T_i):			(Talajhőmérséklet)														
A sértült szakasz belső átmérője (D):																	
A vezeték érdessége (k):																	
A sértült szakasz keresztmetszete (A):			0 cm ²														
Kiáramlási keresztmetszet maximuma (A_{max}):			0 cm ²														
A kiömlés keresztmetszete (A_{ki}):																	
A kiáramlási keresztmetszet (A_3) ABCSZ:			#ZÉRÓOSZTÓ! m ²														
A kiáramlási keresztmetszet (A_4) EFGSZ:			#ZÉRÓOSZTÓ! m ²														
A kiömlő- és a vezeték keresztmetszetek aránya $2A_3/A_4$:			#ZÉRÓOSZTÓ! %														
A kiömlés időtartama (t):			max. 200%														
			4 620 sec														



A szakasz neve: A szakasz kezdő és végpontja: A vezeték belső átmérője (D): A sértetlen vezetékek hossza (L): Az elszakadt vezeték hossza SZ pontig (L):	1.szakasz (A-C)	2. szakasz (B-C)	3. szakasz (C-SZ)	4. szakasz (E-SZ)	5. szakasz (F-E)	6. szakasz (G-E)	m m
	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
	0	0	0	0	0	0	
Hurkolt hálózat korlátlan utánpótlással, kiáramlás a hengesebeség alatt A kiömlési keresztmetszet egyenő vagy nagyobb a cső keresztmetszeténél							
	1.szakasz A pont	2. szakasz B pont	3. szakasz C pont	4. szakasz E pont	5. szakasz F pont	6.szakasz G pont	
Kinullázási érték (p _{C,E}) [(p _H +p ₀)/2]:			103 650	103 650			Pa
Az adott pont nyomása (p ⁽⁰⁾):	105 000	105 000	#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!	105 000	105 000	Pa
Sűrűség az adott pontban (ρ ⁽⁰⁾):	0,7493	0,7493	#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!	0,7493	0,7493	kg/m ³
Nyomásérték λ iterációjához (p ⁽¹⁾):	104 325	104 325	103 650	103 650	104 325	104 325	Pa
Sűrűség λ iterációjához (ρ ⁽¹⁾):	0,7445	0,7445	0,7397	0,7397	0,7445	0,7445	kg/m ³
λ ₁ =	0,0300	0,0300	0,0300	0,0300	0,0300	0,0300	
λ ₂ =	#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!	
λ ₃ =	#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!	
λ ₄ =	#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!	
λ ₅ =	#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!	
A csőúrlódási tényező (λ ⁽¹⁾):	#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!	(Állandó)
A Reynolds-szám (Re ⁽¹⁾):	#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!	
Sebesség λ iterációjához (c ⁽¹⁾):	#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!	
Sebesség az adott pontban (c ⁽⁰⁾):	#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!	m/s
A kiömlés sebessége (c ₀):			#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!			m/s
"K" konstans értékek 'I'-edik közelítésben:	#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!			#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!	
Tömégáramok 'I'-edik közelítésben (m ⁽⁰⁾):	#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!	kg/s
Nyomásértékek 'I'-ik közelítésben (p _{C,E}):			#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!	Pa
A kiömlő gáz tömegárama (m ⁽⁰⁾):			#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!			kg/s
A kiömlő gáz térfogatárama (Q ⁽⁰⁾):			#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!			m ³ /s
			#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!			m ³ /h
			#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!			m ³ /h
A kiömlött gázmennyiség (V _n):			#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!			m ³
			#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!			
Hurkolt hálózat korlátlan utánpótlással, kiáramlás a hengesebeség alatt A kiömlési keresztmetszet kisebb a cső keresztmetszeténél							
A kiömlési keresztmetszet megoszlása a teljes keresztmetszetű tömegáramok arányában (A ₃) (A ₄):			#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!			m
A megosztott szűkítési keresztmetszethez tartozó egyenértékű csőhossz (L ₀):			#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!			
Kinullázási érték (p _{C,E}) [(p _H +p ₀)/2]:			103 650	103 650			Pa
Az adott pont nyomása (p ⁽⁰⁾):	105 000	105 000	#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!	105 000	105 000	Pa
Sűrűség az adott pontban (ρ ⁽⁰⁾):	0,7493	0,7493	#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!	0,7493	0,7493	kg/m ³
Sebesség az adott pontban (c ⁽⁰⁾):	#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!	m/s
A kiömlés sebessége (c ₀):			#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!			m/s
"K" konstans értékek 'I'-edik közelítésben:	#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!			#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!	
Tömégáramok 'I'-edik közelítésben (m ⁽⁰⁾):	#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!	kg/s
Nyomásértékek 'I'-ik közelítésben (p _{C,E}):			#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!			Pa
A kiömlő gáz tömegárama (m ⁽⁰⁾):			#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!			kg/s
A kiömlő gáz térfogatárama (Q _n ⁽⁰⁾):			#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!			m ³ /s
			#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!			m ³ /h
			#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!			m ³ /h
A kiömlött gázmennyiség (V _n):			#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!			m ³
			#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!			

$$K_1 = \lambda_1 \frac{L_1}{D_1^5} \cdot \left(\frac{4}{\pi} \right)^2 \cdot \frac{p_H}{\rho_H}$$

$$K_2 = \lambda_2 \frac{L_2}{D_2^5} \cdot \left(\frac{4}{\pi} \right)^2 \cdot \frac{p_H}{\rho_H}$$

$$K_3 = \lambda_3 \frac{L_3}{D_3^5} \cdot \left(\frac{4}{\pi} \right)^2 \cdot \frac{p_H}{\rho_H}$$

$$p_c^{(0)} = \frac{p_c^{(0)}}{p_H} \cdot \rho_H$$

$$c_c^{(1)} = \sqrt{\frac{\left(\frac{p_c^{(0)}}{p_c} \right) - 1}{\frac{\rho_H}{p_H} \left[\ln \left(\frac{p_c^{(0)}}{p_c} \right)^2 - \lambda_3 \frac{L_3}{D_3} \right]}}$$

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \cdot \lg \left[\frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{\lambda}} + \frac{k}{3,715D} \right]$$

$$m_1^{(1)} = \frac{m_3^{(1)}}{1 + \sqrt{\frac{K_1}{K_2}}} \quad [\text{kg/s}]$$

$$p_c^{(1)} = \sqrt{p_H^2 - \lambda_1 \frac{L_1}{D_1^5} \left(\frac{4}{\pi} \right)^2 \frac{p_H}{\rho_H} \cdot m_1^2} \quad [\text{Pa}]$$

$$\dot{m}_3^{(1)} = \frac{D_3^2 \pi}{4} \cdot \frac{p_c^{(1)}}{p_H} \rho_H \sqrt{\frac{\left(\frac{p_c^{(0)}}{p_c} \right) - 1}{\frac{\rho_H}{p_H} \left[\ln \left(\frac{p_c^{(0)}}{p_c} \right)^2 - \lambda_3 \frac{L_3}{D_3} \right]}} \quad [\text{kg/s}]$$

$$L_e = 4800 \cdot \left(\frac{A_3}{A_2} - 1 \right)^2 \quad [\text{m}]$$

Hurkolt hálózat korlátlan utánpótlással, kiáramlás a hengesebességgel						
A kiömlési keresztmetszet egyenő vagy nagyobb a cső keresztmetszeténél						
	1.szakasz A pont	2. szakasz B pont	3. szakasz C pont	4. szakasz E pont	5. szakasz F pont	6.szakasz G pont
Az L hosszhoz tartozó Mach-szám ($M_{C,E}$):			#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!		
"K" konstans értékek:	#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!
A kiömlés sebessége ($c_w=a$):			399,42	399,42		m/s
A kiömlő gáz tömegárama ($m_{C,E}$):			#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!		kg/s
A kiömlő gáz térfogatárama ($Q_{n,C,E}$):			#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!		m ³ /s
			#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!		m ³ /h
			#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!		m ³ /h
A kiömlött gázmennyiség (V_n):			#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!		m ³
Hurkolt hálózat korlátlan utánpótlással, kiáramlás a hengesebességgel						
A kiömlési keresztmetszet kisebb a cső keresztmetszeténél						
A kiömlési keresztmetszet megosztása a teljes keresztmetszetű tömegáramok arányában (A_3) (A_4):			#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!		
Mach-szám közvetlenül a kiömlés előtt (M_2):			#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!		
Módosult Mach-szám a kezdeti pontban (M'_1):			#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!		
"K" konstans értékek:	#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!
A kiömlés sebessége ($c_w=a$):			399,42	399,42		m/s
A kiömlő gáz tömegárama ($m_{C,E}$):			#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!		kg/s
A kiömlő térfogatáram (Q_n):			#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!		m ³ /s
			#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!		m ³ /h
			#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!		m ³ /h
A kiömlött gázmennyiség (V_n):			#ZÉRÓOSZTÓ!	#ZÉRÓOSZTÓ!		m ³
A meghibásodás ideje alatt kiömlött gázmennyiség gáztechnikai normálállapotban						
A kiömlő gáz gázmennyiség maximuma a hiba elhárításáig ($A_{ki}>A_{teljes}$):	#####			m ³	(Gáztechnikai normálállapotban)	
Az $A_{ki}<A_{teljes}$ szakítási keresztmetszeten kiömlött gázmennyiség az elhárításig: #####				m ³	(Gáztechnikai normálállapotban)	

$$K_1 = \lambda_1 \frac{L_1}{D_1^5} \cdot \left(\frac{4}{\pi} \right)^2 \cdot \frac{p_H}{\rho_H}$$

$$K_2 = \lambda_2 \frac{L_2}{D_2^5} \cdot \left(\frac{4}{\pi} \right)^2 \cdot \frac{p_H}{\rho_H}$$

$$K_3 = \frac{D_3^2 \pi}{4} \sqrt{\frac{\kappa M_{gáz}}{Z R_u T_H}} M_c$$

$$L_3 = \frac{D_3}{\kappa \lambda_3} \left[\frac{1 - M_c^2}{M_c^2} + \frac{\kappa + 1}{2} \ln \frac{\frac{\kappa + 1}{2} M_c^2}{\frac{\kappa - 1}{2} M_c^2 + 1} \right]$$

$$Q_N = \frac{\dot{m}_3}{\rho_H} = \frac{Z R_u T_N}{\rho_H M_{gáz}} K_3 p_H \frac{1 + \sqrt{\frac{K_1}{K_2}}}{\sqrt{\kappa K_3^2 + \left(1 + \sqrt{\frac{K_1}{K_2}} \right)^2}} \quad [m^3/s]$$

A Mach-szám számítása

Segédszámítás az '3. Hurkolt, korlátlan' munkafüzet laphoz

A Mach-szám számításához szükséges adatok

Megjegyzés

A sérült vezeték belső átmérője (D):	0,00 m	
Izentrópus kitevő (κ):	1,3140	(Állandó, előző munkalapról)
Sűrűlási tényező a sérült szakaszon (λ _{C-SZ}):	#####	(Állandó, Colebrook formulával számítva, előző munkalapról)
Sűrűlási tényező a sérült szakaszon (λ _{E-SZ}):	#####	(Állandó, Colebrook formulával számítva, előző munkalapról)
Vezeték hossz a szakadásig (L _{C-SZ}):	0 m	(A p _C csomóponttól C-SZ szakasz)
Vezeték hossz a szakadásig (L _{E-SZ}):	0 m	(A p _E csomóponttól E-SZ szakasz)
Kapott Mach szám (M _C):	#####	(Teljes keresztmetszeten történő kiáramlás esetén érvényes C csomópontban)
Kapott Mach szám (M _E):	#####	(Teljes keresztmetszeten történő kiáramlás esetén érvényes E csomópontban)
A vezeték keresztmetszete (A):	0,0000 m ²	
A kiáramlási keresztmetszet (A ₃) C-SZ:	##### m ²	
A kiáramlási keresztmetszet (A ₃) E-SZ:	##### m ²	
A/A ₃ C-SZ:	#####	
A/A ₃ E-SZ:	#####	
Kapott Mach szám (M _{2C}):	#####	(Közvetlenül a csökkent keresztmetszet előtti teljes keresztmetszeten érvényes)
Kapott Mach szám (M' _{1C}):	#####	(A keresztmetszet csökkenés miatt módosuló Mach-szám a C csomópontban)
Kapott Mach szám (M _{2E}):	#####	(Közvetlenül a csökkent keresztmetszet előtti teljes keresztmetszeten érvényes)
Kapott Mach szám (M' _{1E}):	#####	(A keresztmetszet csökkenés miatt módosuló Mach-szám az E csomópontban)

$$\lambda \frac{l}{D} = \frac{1}{\kappa} \left[\frac{1 - M^2}{M^2} + \frac{\kappa + 1}{2} \ln \frac{\frac{\kappa + 1}{2} M^2}{\frac{\kappa - 1}{2} M^2 + 1} \right]$$

$$\frac{A_2}{A_3} = \frac{1}{M_2} \left(\frac{2}{\kappa + 1} + \frac{\kappa - 1}{\kappa + 1} M_2^2 \right)^{\frac{\kappa + 1}{2(\kappa - 1)}}$$

$$\lambda \frac{l}{D} = \frac{1}{\kappa} \left[\frac{M_2^2 - M_1'^2}{M_1'^2 M_2^2} + \frac{\kappa + 1}{2} \ln \frac{M_1'^2 \frac{\kappa - 1}{2} M_2^2 + 1}{M_2^2 \frac{\kappa - 1}{2} M_1'^2 + 1} \right]$$

2024. évi hálózatellenőrzés során detektált szivárgások				
Dátum	Cím	Szivárgás oka	Üzemzetőség	Szivárgás helye
2024.01.02	NAGYRÓZVÁGY, Dózsa György utca 61 - 63	Szivárgás szerelvényen	Miskolci Üzemzetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.01.04	HAJDÚSZOBOSZLÓ, Arany János utca 1/a	Kötéshiba	Debreceni Üzemzetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.01.04	HAJDÚSZOBOSZLÓ, Árpád utca	Korrózió	Debreceni Üzemzetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.01.05	BUDAÖRS, Patkó utca 9	Szivárgás vezetéken	Diósdí Üzemzetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.01.05	Mád, Vécsei utca 8	Kötéshiba	Miskolci Üzemzetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.01.08	MISKOLC, Iglói utca 34	Korrózió	Miskolci Üzemzetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.01.08	JÁSZBERÉNY, Kórház utca 3	Szerelvényhiba	Szolnoki Üzemzetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.01.09	ÓZD, Rózsadomb utca 25	Szivárgás szerelvényen	Miskolci Üzemzetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.01.10	PÁSZTÓ	Szivárgás szerelvényen	Egri Üzemzetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.01.10	Jászberény, Kórház utca	Szivárgás szerelvényen	Szolnoki Üzemzetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.01.11	ABONY, Kécskei út 19/A	Szivárgás vezetéken	Szolnoki Üzemzetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.01.12	MÚCSONY, Bem József utca 2	Szerelvényhiba	Miskolci Üzemzetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.01.15	Mezőtúr, Bajcsy-Zsilinszky út	Szivárgás vezetéken	Szolnoki Üzemzetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.01.15	Miskolc, Iglói utca	Korrózió	Miskolci Üzemzetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.01.16	HAJDÚSZOBOSZLÓ, Vadas utca	Szivárgás szerelvényen	Debreceni Üzemzetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.01.18	TISZATARJÁN, Kossuth Lajos utca 5*	Szivárgás vezetéken	Miskolci Üzemzetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.01.19	Karcag, Petőfi utca	Kötéshiba	Szolnoki Üzemzetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.01.22	Abony, Bajcsy-Zsilinszky utca	Szivárgás szerelvényen	Szolnoki Üzemzetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.01.22	TISZAFÖLDVÁR, Tópart út 6	Szivárgás szerelvényen	Szolnoki Üzemzetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.01.23	Gyál, Petőfi Sándor utca	Szivárgás vezetéken	Diósdí Üzemzetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.01.30	RÁCKEVE, Eötvös utca és Mária Kriszta köz sarok	Szivárgás vezetéken	Diósdí Üzemzetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.01.30	PALOTÁS, Bajcsy-Zsilinszky Endre utca 3	Szivárgás szerelvényen	Egri Üzemzetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.02.01	Gyál, Külterület Stz. 02/7hrsz	Szivárgás vezetéken	Diósdí Üzemzetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.02.01	BÁTONYTERENYE, Irinyi utca 31	Szivárgás szerelvényen	Egri Üzemzetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.02.02	SZOLNOK, Kertész utca 92	Korrózió	Szolnoki Üzemzetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.02.06	Zagyvarékas, Szent János utca	Szivárgás szerelvényen	Szolnoki Üzemzetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.02.07	SARUD, Kossuth utca	Kötéshiba	Egri Üzemzetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.02.07	EGER, Zöldfa utca	Szivárgás vezetéken	Egri Üzemzetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.02.07	Szegi, Alkotmány utca	Korrózió	Miskolci Üzemzetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.02.08	Gyál, Külterület Stz. 02/7hrsz	Szivárgás vezetéken	Diósdí Üzemzetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.02.08	NYÍREGYHÁZA, Majális utca	Szivárgás vezetéken	Nyíregyházi Üzemzetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.02.08	SOLYMÁR, Ifjúság utca Gázfogadó belépő	Szivárgás vezetéken	Váci Üzemzetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.02.09	Borsosberény, Petőfi utca 116	Szerelvényhiba	Egri Üzemzetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.02.09	Tarcal, Könyves Kálmán utca 2	Szivárgás szerelvényen	Miskolci Üzemzetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.02.10	ABONY, Tószegi út 41/B	Szivárgás vezetéken	Szolnoki Üzemzetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.02.12	BORSODGESZT, Fogadó állomás	Szivárgás szerelvényen	Miskolci Üzemzetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.02.12	Sátoraljaújhely, Rákóczi utca - Liget tér sarok 37	Szivárgás szerelvényen	Miskolci Üzemzetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül

2024.02.13	Vác, Eötvös utca	Korrózió	Váci Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.02.14	NYÉKLÁDHÁZA, Vadvirág utca 43	Szivárgás szerelvényen	Miskolci Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.02.14	PÓCSPETRI, Rákóczi Ferenc utca 93	Szivárgás vezetéken	Nyíregyházi Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.02.14	Abony, Tószegi út	Szivárgás vezetéken	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.02.15	Szelevény, József Attila út	Szivárgás szerelvényen	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.02.16	EMŐD, Széchenyi utca 74-gyel sz	Szivárgás szerelvényen	Miskolci Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.02.19	Szolnok, Muskátlí utca	Korrózió	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.02.20	NYÍREGYHÁZA, Kiss Ernő utca	Korrózió	Nyíregyházi Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.02.20	NYÍREGYHÁZA, Vietórisz József utca	Korrózió	Nyíregyházi Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.02.22	Törökszentmiklós, Pánthy Endre út	Korrózió	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.02.25	HAJDÚSZOBOSZLÓ, Papp István utca 35	Szivárgás szerelvényen	Debreceni Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.02.27	TISZAVASVÁRI, Erdő utca 20	Szivárgás vezetéken	Nyíregyházi Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.02.28	TÖRÖKSZENTMIKLÓS, Herman utca 51	Korrózió	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.02.29	HAJDÚSZOBOSZLÓ, Papp István utca 36-38 körü	Szerelvényhiba	Debreceni Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.02.29	ÓZD, Petőfi Sándor út 195	Szivárgás szerelvényen	Miskolci Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.03.01	Szolnok, Kosztolányi Dezső utca	Korrózió	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.03.04	Nyársapát	Szivárgás szerelvényen	Diósdí Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.03.04	GYÖNGYÖS, Egri utca 32.sz	Szivárgás vezetéken	Egri Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.03.04	MISKOLC, Hűtőházi út 19	Korrózió	Miskolci Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.03.04	MISKOLC, Hűtőházi út 24	Szivárgás szerelvényen	Miskolci Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.03.04	GESZTELY, Béke utca	Szivárgás szerelvényen	Miskolci Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.03.04	NYÍREGYHÁZA, Hunyadi utca	Szivárgás vezetéken	Nyíregyházi Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.03.05	SZOLNOK, Károly Róbert utca a Baross g	Szivárgás vezetéken	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.03.05	Göd, József utca	Szerelvényhiba	Váci Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.03.06	HORTOBÁGY, Ady Endre utca	Korrózió	Debreceni Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.03.11	DEBRECEN, Vágóhíd utca 3	Szivárgás vezetéken	Debreceni Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.03.12	ÁROKTŐ, Széchenyi utca 27	Szivárgás szerelvényen	Miskolci Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.03.12	Szolnok, Széchenyi utca	Szivárgás vezetéken	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.03.12	Szolnok, Károly Róbert utca	Szivárgás vezetéken	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.03.13	SALGÓTARJÁN, Határ út	Szivárgás vezetéken	Egri Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.03.18	NYÍREGYHÁZA, Virág utca 10	Korrózió	Nyíregyházi Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.03.19	Szolnok, Károly Róbert utca	Korrózió	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.03.19	Szolnok, Károly Róbert utca	Korrózió	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.03.21	ÓZD, Szenna utca 31	Szivárgás szerelvényen	Miskolci Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.03.22	ÓZD, Centeri út 72 vel szemben	Szivárgás szerelvényen	Miskolci Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.03.25	DEBRECEN, Zákány utca	Szivárgás vezetéken	Debreceni Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.03.30	TISZALÚC, Árpád utca 14	Szivárgás szerelvényen	Miskolci Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.04.02	MÁTÉSZALKA, Szalkay L. u. 1	Szerelvényhiba	Nyíregyházi Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.04.04	Gyermely, Tatai u.	Szivárgás szerelvényen	Diósdí Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül

2024.04.05	DEBRECEN, Haláp utca 10	Korrózió	Debreceni Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.04.06	CSERNELY, Kissor utca 39	Szivárgás szerelvényen	Miskolci Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.04.08	BUDAÖRS, Kisfaludy utca 23/1	Kötéshiba	Diósdí Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.04.08	MÁTÉSZALKA, Szalkay L. u. 1	Szivárgás szerelvényen	Nyíregyházi Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.04.10	MEZŐTÚR, Szabadság tér 14/a	Kötéshiba	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.04.15	Göd, József Attila utca	Szerelvényhiba	Váci Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.04.17	Miskolc, Bíró utca	Korrózió	Miskolci Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.04.17	Miskolc, Avar utca	Szivárgás vezetéken	Miskolci Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.04.17	Miskolc, Batthyány sor	Szivárgás vezetéken	Miskolci Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.04.18	HAJDÚSZOBOSZLÓ, Vadas utca 52/a	Kötéshiba	Debreceni Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.04.18	RUDABÁNYA, Jókai Mór utca 24	Szivárgás vezetéken	Miskolci Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.04.19	MISKOLC, Bíró utca 22	Kötéshiba	Miskolci Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.04.23	Miskolc, Besenyői út	Szivárgás szerelvényen	Miskolci Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.04.25	DEBRECEN, Legányi utca 4	Szivárgás vezetéken	Debreceni Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.04.26	FÖLDES, Csokonai utca 37	Szivárgás szerelvényen	Debreceni Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.05.02	DEBRECEN, Legányi utca 24/B	Szivárgás vezetéken	Debreceni Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.05.03	DEBRECEN, Kiss Áron utca 10	Kötéshiba	Debreceni Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.05.03	NYÍREGYHÁZA, Hársfa utca	Korrózió	Nyíregyházi Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.05.03	ERDŐKERTES, József Attila utca 11	Kötéshiba	Váci Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.05.08	MARTFŰ, Gesztenye sor	Szivárgás szerelvényen	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.05.08	SZELEVÉNY, Ady Endre út 11	Szerelvényhiba	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.05.14	JÁSZBERÉNY, Téli utca 9	Szivárgás szerelvényen	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.05.14	SZOLNOK, Dobó István utca 34	Szivárgás szerelvényen	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.05.16	DEBRECEN, Domokos Lajos utca 16	Szivárgás vezetéken	Debreceni Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.05.17	BUDAKESZI, Batthyány János utca 77	Szivárgás vezetéken	Diósdí Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.05.21	HAJDÚNÁNÁS, Polgári utca	Korrózió	Debreceni Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.05.21	ISTENMEZEJE, Nefelejcs utca	Szivárgás vezetéken	Egri Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.05.23	SALGÓTARJÁN, Hunyadi körút (TNSR DEF: Nev:H	Szivárgás szerelvényen	Egri Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.05.27	Miskolc, Láditelepi utca	Korrózió	Miskolci Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.05.27	TÖRÖKSZENTMIKLÓS, Béke utca 24	Korrózió	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.05.27	SZOLNOK, Árnyas utca 1	Korrózió	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.05.28	HAJDÚSZOBOSZLÓ, Kereszt utca-Bethien u. sarok	Korrózió	Debreceni Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.05.28	NYÍREGYHÁZA, Eötvös utca 7	Korrózió	Nyíregyházi Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.05.30	SZOLNOK, Thököly utca 85	Szivárgás szerelvényen	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.06.03	HAJDÚSZOBOSZLÓ, Álmos utca 28	Kötéshiba	Debreceni Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.06.03	MISKOLC, Szarkahegy utca 18	Kötéshiba	Miskolci Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.06.03	NYÍREGYHÁZA, Bujtos utca 5	Szivárgás szerelvényen	Nyíregyházi Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.06.04	Szolnok, Baross utca I. szakasz	Szerelvényhiba	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.06.05	Cegléd, Jászberényi út	Szivárgás szerelvényen	Diósdí Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül

2024.06.05	Szolnok, Thököly utca	Szivárgás szerelvényen	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.06.07	HAJDÚBÖSZÖRMÉNY, Kemény János körút 16	Korrózió	Debreceni Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.06.07	Budakeszi, Széchenyi utca	Szerelvényhiba	Diósdí Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.06.11	Budakeszi, Reviczky József utca	Szivárgás vezetéken	Diósdí Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.06.11	Verpelét	Szivárgás szerelvényen	Egri Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.06.11	Verpelét	Szivárgás szerelvényen	Egri Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.06.13	Mezőtúr, Földvári utca	Szivárgás vezetéken	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.06.13	ZAGYVÁRÉKÁS, Kossuth utca 41	Szivárgás szerelvényen	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.06.14	Szigetszentmiklós, Dr. Lengyel Lajos utca	Korrózió	Diósdí Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.06.14	Jászberény	Szivárgás vezetéken	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.06.14	Jászberény, Külterület I. külterület	Szivárgás vezetéken	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.06.14	Jászberény	Kötéshiba	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.06.15	DUNAHARASZTI, Baktai Ervin utca	Szivárgás szerelvényen	Diósdí Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.06.17	DEBRECEN, Füredi utca	Szivárgás vezetéken	Debreceni Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.06.19	EMŐD, Ifjúság utca 42	Szerelvényhiba	Miskolci Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.06.19	ÓZD, Pázmány út 26	Szivárgás szerelvényen	Miskolci Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.06.19	Kemecse, Dimitrov u. külterület	Korrózió	Nyíregyházi Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.06.20	NYÍREGYHÁZA, Május 1. tér	Szivárgás szerelvényen	Nyíregyházi Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.06.20	NYÍREGYHÁZA, Leffler Sámuel utca	Korrózió	Nyíregyházi Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.06.24	EGER, Vincellériskola utca - Mátyás u. sarok	Szivárgás vezetéken	Egri Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.06.26	Karancsság, Újtelepi út 77	Korrózió	Egri Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.07.01	NAGYLÓC, Deák Ferenc utca	Szivárgás vezetéken	Egri Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.07.01	Szolnok, Krúdy Gyula utca	Szivárgás szerelvényen	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.07.02	BALASSAGYARMAT, Jeszenszky Kálmán utca	Szivárgás vezetéken	Egri Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.07.02	BALASSAGYARMAT, Váci Mihály utca (TNSR DEF: Ne	Szivárgás vezetéken	Egri Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.07.03	BALASSAGYARMAT, Madách utca	Szivárgás vezetéken	Egri Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.07.03	Rákóczi falva, Rákóczi Ferenc út	Szivárgás vezetéken	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.07.04	Szolnok, Hársfa utca	Szivárgás szerelvényen	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.07.09	KISÚJSZÁLLÁS, Petőfi utca-Nagy Imre sarok	Szivárgás vezetéken	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.07.10	HERNÁDNÉMETI, Rákóczi Ferenc utca 191	Szivárgás szerelvényen	Miskolci Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.07.10	NYÍREGYHÁZA, Eperjes utca	Korrózió	Nyíregyházi Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.07.11	JÁSZBERÉNY, Mező utca 39	Szivárgás szerelvényen	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.07.19	Hosszúpályi, Gergely utca 11	Kötéshiba	Debreceni Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.07.19	Verpelét	Szivárgás szerelvényen	Egri Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.07.19	KISÚJSZÁLLÁS	Szivárgás szerelvényen	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.07.19	JÁSZBERÉNY, Szilfa utca 16	Szivárgás vezetéken	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.07.20	JÁSZBERÉNY, Szilfa utca 16	Szivárgás vezetéken	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.07.22	NYÍREGYHÁZA, Kiss Ernő utca	Korrózió	Nyíregyházi Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.07.22	NYÍREGYHÁZA, Eötvös utca	Korrózió	Nyíregyházi Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül

2024.07.23	FÜZESABONY, Nagyszohoda utca	Szivárgás szerelvényen	Egri Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.07.25	MEZŐKÖVESD, Szőlő utca	Szivárgás vezetéken	Egri Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.07.25	GYÖNGYÖS, Búza utca 2-4	Szivárgás szerelvényen	Egri Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.07.25	Szob	Korrózió	Váci Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.07.26	Miskolc, Szentpéteri kapu	Szivárgás szerelvényen	Miskolci Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.07.26	Szolnok, Szapáry út	Szivárgás vezetéken	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.07.26	Szolnok, Szapáry út	Szivárgás vezetéken	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.07.29	DEBRECEN, Nagyerdei park 1	Szivárgás vezetéken	Debreceni Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.07.29	Szolnok, Szapáry út	Korrózió	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.07.30	Szolnok, Szapáry út	Korrózió	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.07.30	KUNSZENTMÁRTON, Damjanich út 2	Szerelvényhiba	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.07.31	Szolnok, Szapáry út	Korrózió	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.08.02	NYÍRPAZONY, Lejtő utca	Szivárgás vezetéken	Nyíregyházi Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.08.06	NAGYCSÉCS, Dobsinai út 11	Szivárgás szerelvényen	Miskolci Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.08.11	JÁSZKARAJENŐ, Fő utca 72	Kötéshiba	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.08.12	ÓZD, Dobó István utca 6	Szivárgás vezetéken	Miskolci Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.08.14	GÖDÖLLŐ, Szőlő utca 28	Szivárgás szerelvényen	Váci Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.08.14	MISKOLC, Kondor Béla utca	Korrózió	Miskolci Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.08.22	MISKOLC, Iglói utca 64	Szivárgás vezetéken	Miskolci Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.08.28	Miskolc, Bezerédi István utca	Szivárgás szerelvényen	Miskolci Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.08.28	Törökszentmiklós, Templom utca	Szivárgás vezetéken	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.08.28	Törökszentmiklós, Templom utca	Szivárgás vezetéken	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.09.02	Mikófalva külterület	Csapszekrényben	Eger Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.09.02	Törökszentmiklós, Templom utca	Szivárgás vezetéken	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.09.03	Bükkszék, külterület	Csapszekrényben	Eger Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.09.04	Pétervására, külterület	Csapszekrényben	Eger Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.09.04	Fegyvernek, Gázfogadó (Felszab. u.) 2853/4	Szivárgás szerelvényen	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.09.05	ÓZD, Damjanich utca 108	Szivárgás vezetéken	Miskolci Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.09.09	PUTNOK, Rákóczi Ferenc utca 62	Korrózió	Miskolci Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.09.10	VECSÉS II. fogadó	Felállásnál a PE-acél összekötőnél	Váci Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.09.11	MISKOLC, Papszer utca 44	Kötéshiba	Miskolci Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.09.16	HAJDÚNÁNÁS, Polgári utca 82	Korrózió	Debreceni Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.09.16	Zagyvarékas, Gyimesi utca	Szivárgás szerelvényen	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.09.16	Zagyvarékas, Gyimesi utca	Szivárgás szerelvényen	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.09.17	KUNSZENTMÁRTON, Csongrádi utca 68	Korrózió	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.09.24	Jászberény, Tóth János utca	Szivárgás vezetéken	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.09.24	DUNAKESZI, Deák Ferenc utca	Szivárgás szerelvényen	Váci Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.09.25	NÓGRÁDSÁP	Kötéshiba	Egri Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.09.30	Budaörs, Nefelejcs utca	Kötéshiba	Diósdí Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül

2024.09.30	EGER, Vármház utca	Szivárgás szerelvényen	Egri Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.09.30	SZOLNOK, Róka utca 4	Korrózió	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.10.02	Mezőkövesd	Szerelvényhiba	Egri Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.10.07	ÓZD, Újtelepi út 27/1	Szivárgás szerelvényen	Miskolci Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.10.07	Miskolc, Petneházy Dávid utca	Korrózió	Miskolci Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.10.07	Törökszentmiklós, Korvin Ottó út	Szivárgás vezetéken	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.10.07	TÖRÖKSZENTMIKLÓS, Délibáb utca 8	Szivárgás vezetéken	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.10.08	EGER, Egri csillagok utca 1	Szivárgás vezetéken	Egri Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.10.08	HATVAN, Kiss Ernő utca- Mészáros Lázár u. sarok	Szivárgás szerelvényen	Egri Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.10.09	ÓZD, Uraj út 110	Szivárgás szerelvényen	Miskolci Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.10.09	MISKOLC, Verne Gyula utca 3	Korrózió	Miskolci Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.10.09	JÁSZALSÓSZENTGYÖRGY, Építő út 7	Szivárgás vezetéken	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.10.10	Törökbálint, Vasút utca	Szivárgás vezetéken	Diósdí Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.10.10	TÖRÖKSZENTMIKLÓS, Almássy út - Batthyány u. sarok	Korrózió	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.10.10	Szolnok	Szivárgás szerelvényen	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.10.14	BOGÁCS, Szilvás út	Szivárgás szerelvényen	Egri Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.10.16	DEBRECEN, Zákány utca	Szivárgás vezetéken	Debreceni Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.10.18	Szajol, Alamand dűlő	Szivárgás szerelvényen	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.10.18	Törökszentmiklós, Délibáb utca	Szivárgás vezetéken	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.10.18	Tahitótfalu, Küllerület Tahi GF Kisoroszi GF	Szivárgás szerelvényen	Váci Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.10.19	MISKOLC, Fő utca 141	Kötéshiba	Miskolci Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.10.22	MEZŐTÚR, Petőfi Sándor utca és Vásár u. sarok	Kötéshiba	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.10.22	NYÍREGYHÁZA, Selyem utca	Korrózió	Nyíregyházi Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.10.22	JÁSZBERÉNY, Sándor utca 16	Szivárgás szerelvényen	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.10.23	TÚRKEVE, Széchenyi utca 7	Szivárgás vezetéken	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.10.24	DEBRECEN, Csapó utca	Szivárgás vezetéken	Debreceni Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.10.24	NYÍREGYHÁZA, Rozsnyó utca	Korrózió	Nyíregyházi Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.10.25	NYÍREGYHÁZA, Repülőtér út	Szivárgás szerelvényen	Nyíregyházi Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.10.28	Szolnok, Rózsa utca	Szivárgás vezetéken	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.11.04	MISKOLC, Károly utca 29	Szivárgás szerelvényen	Miskolci Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.11.04	SZOLNOK, Fény utca 17	Szivárgás vezetéken	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.11.04	DUNAKESZI, Gárdonyi Géza utca 12	Szivárgás szerelvényen	Váci Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.11.05	SZOLNOK, Szellő utca 13	Szivárgás szerelvényen	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.11.06	HAJDÚSZOBOSZLÓ, Major utca 61-65	Szivárgás vezetéken	Debreceni Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.11.06	PILISSZÁNTÓ, Küllerület	Szivárgás szerelvényen	Váci Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.11.07	Törökbálint, Vasút utca	Szivárgás vezetéken	Diósdí Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.11.08	TÖRÖKSZENTMIKLÓS, Munkácsy utca 51	Szivárgás vezetéken	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.11.11	TÖRÖKSZENTMIKLÓS, Jegenye utca 18	Korrózió	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.11.13	Törökszentmiklós, Munkácsy utca	Korrózió	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül

2024.11.13	TÖRTEL, Fegyver út 14	Szivárgás szerelvényen	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.11.14	HAJDÚSZOBOSZLÓ, Hőforrás utca 75	Szivárgás vezetéken	Debreceni Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.11.14	Kunszentmárton, Eötvös József utca	Szivárgás szerelvényen	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.11.14	Jászberény, Március 15. út	Szivárgás szerelvényen	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.11.15	HAJDÚBÖSZÖRMÉNY, Árpád utca 3	Szivárgás vezetéken	Debreceni Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.11.17	NYÉKLÁDHÁZA, Kárász utca 6	Szivárgás szerelvényen	Miskolci Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.11.17	SZELEVÉNY, Halesz szőlő 58	Szivárgás szerelvényen	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.11.19	ARLÓ, Ady Endre utca 142-144	Szivárgás szerelvényen	Miskolci Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.11.20	Budaörs, Kolozsvári utca	Szivárgás vezetéken	Diósdí Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.11.22	JÁSZAPÁTI, Dózsa György út 27	Szivárgás szerelvényen	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.11.25	Szolnok, Bótos Sándor utca	Szivárgás szerelvényen	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.11.26	PÜSPÖKLADÁNY, Bajcsy-Zsilinszky utca 1	Korrózió	Debreceni Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.11.26	NÁDUDVAR, Kossuth tér	Korrózió	Debreceni Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.11.26	MEZŐSZEMERE, Szabadság utca 128	Szivárgás szerelvényen	Egri Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.11.26	MISKOLC, Bruckner Győző utca 119	Szivárgás szerelvényen	Miskolci Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.11.26	Ózd, Új telep	Szivárgás szerelvényen	Miskolci Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.11.26	Törtel, Malom út	Szivárgás szerelvényen	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.11.27	NÁDUDVAR, Fő út 200	Korrózió	Debreceni Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.11.27	Miskolc, Maros utca	Kötéshiba	Miskolci Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.11.27	NYÍREGYHÁZA, Nyírfa utca	Szivárgás szerelvényen	Nyíregyházi Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.11.28	NÁDUDVAR, Fő út 155	Korrózió	Debreceni Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.11.28	BUDAKESZI, Széchenyi utca 68/A	Szivárgás vezetéken	Diósdí Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.11.28	Miskolc, Bruckner Győző utca	Szivárgás szerelvényen	Miskolci Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.11.28	JÁSZKARAJENŐ, Erkel Ferenc utca 28	Szivárgás szerelvényen	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.11.29	Szolnok, Tünde utca	Kötéshiba	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.12.01	Hunyadfalva, Damjanich út 18	Kötéshiba	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.12.02	ÉRD, Jegyző utca- Képviselő u. sarok	Szivárgás vezetéken	Diósdí Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.12.03	JÁSZBERÉNY, Diófa utca 6	Szivárgás szerelvényen	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.12.04	Cegléd, Tangazdaság utca	Szivárgás vezetéken	Diósdí Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.12.04	NYÍREGYHÁZA, Százados utca 55	Szivárgás vezetéken	Nyíregyházi Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.12.05	CSERKESZŐLŐ, Kuna dűlő 72	Szivárgás szerelvényen	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.12.06	Szolnok, Szivárvány utca	Kötéshiba	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.12.10	BUDAÖRS, Patkó utca 9	Szivárgás vezetéken	Diósdí Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.12.13	EMŐD, Lévai utca 6	Szivárgás szerelvényen	Miskolci Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.12.16	Martfű, Rákóczi út	Szivárgás vezetéken	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.12.16	MARTFŰ, Rákóczi út 24.	Kötéshiba	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.12.17	ZAGYVARÉKAS, Külső Rákóczi Ferenc út 1/8	Korrózió	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.12.17	Cserkeszőlő, III. Kereszt dűlő	Szerelvényhiba	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.12.18	HATVAN, Bajcsy utca-Jégcsarnok utca kereszteződés	Szivárgás vezetéken	Egri Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül

2024.12.19	ZAGYVARÉKAS, Külső Rákóczi Ferenc út 1/8	Korrózió	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.12.21	JÁSZBERÉNY, Jedám utca 11	Kötéshiba	Szolnoki Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül
2024.12.22	JÁSZFÉNYSZARU, Szegfű utca 22	Korrózió	Váci Üzemvezetőség	Üzemzavar telekhatáron kívül

2024. évi elosztóhálózati hálózatellenőrzés során detektált szivárgásokból származó metánkibocsátás		
Szivárgások száma (db)		
275		
Földgázelosztó hálózat nyomásfokozat szerinti eloszlása		
Kisnyomás	Középnomás	Nagyközépnomás
5,19%	81,35%	13,42%
Szivárgások száma nyomásfokozatok tekintetében [db/év]		
14	224	37
Szivárgási helyek tekintetében [l/h]		
1 064,00	51 968,00	59 792,00
Szivárgási helyek tekintetében [m ³ /év]		
13 980,96	455 239,68	785 666,88
Szivárgásokból eredő metánkibocsátás (m ³ /év)		
1 254 887,52		
Szivárgásokból eredő metánkibocsátás (tonna/év) - átváltás		
899,50		
CH ₄ emissions in CO ₂ e (AR5-100) - (tonna/év):		
25 186,09		

GT-190300
10 Dec 2020

Quantifying leakage from underground pipelines

Phase 1



**Trust
Quality
Progress**



This page is left blanc intentionally



GT-190300
10 Dec 2020

Quantifying leakage from underground pipelines

Phase 1

> © 2020 Kiwa N.V.
All rights reserved. No part of
this report may be
reproduced, stored in a
database or retrieval system,
or published, in any form or in
any way, electronically,
mechanically, by print,
photoprint, microfilm or any
other means without prior
written permission from the
publisher.

Colophon

Kiwa Technology B.V.
Wilmersdorf 50
Postbus 137
7300 AC Apeldoorn
The Netherlands

Tel. +31 88 998 33 93
Fax +31 88 998 34 94
www.kiwatechnology.nl

Title	Quantifying leakage from underground pipelines
Project Number	004P001438
Project Manager	C.J.A. (Kees) Pulles
Contractor	GERG
Quality Assurance	E.H. (Erik) van den Brink
Author(s)	C.J.A. (Kees) Pulles



This page is left blanc intentionally



Contents

	Contents	1
1	Summary	1
2	Project description	3
2.1	Introduction	3
2.2	Research questions	3
2.3	Approach of phase 1: Analysing, planning and recommendation	4
3	Measurements	5
3.1	Set-up	5
3.1.1	Site	5
3.1.2	Soil	6
3.1.3	Leaks	6
3.1.4	Installation and instrumentation	9
3.2	Results	10
3.3	Analysis	13
3.3.1	Systematic errors	13
3.3.2	Uncertainty	13
3.3.3	Impact of external conditions (weather)	13
3.3.4	Discussion	13
4	Campaign analysis	15
4.1	Dutch data set	15
4.2	General data sets	16
4.3	Measurement campaign advice	16
5	Conclusions	17
5.1	Measurements	17
5.2	Dutch leak data set	17
5.3	Campaign advice	17
6	References	19
I.	Calibration	20
II.	Simulation by particle diffusion	25
III.	Sample size	30
IV.	Proposed measurement protocol	35
V.	Historic Dutch suction measurements dataset	40



>



This page is left blanc intentionally

>



1 Summary

Methane is a greenhouse gas that, when released into the atmosphere, contributes to climate change. The most important component in natural gas is methane. It is therefore important that the emissions of the gas sector are accurately and traceably quantified.

The estimation of the emission of underground pipelines is typically a process of two stages. One stage is executing a leak survey that identifies the location and number of leaks in the piping system. Secondly a number of reference leaks is selected of which the amount of leakage is quantified.

One of the methods available for quantification is the 'suction method', which is the topic of this report.

The uncertainty of the estimate of the total emission is determined by various factors, of which arguably the two most importance ones are the accuracy (systematic and statistic uncertainty) of the suction measurement and the statistical uncertainty in the average leaks flow rate (due to the limited sample size and the inherent variation of leaks flow rates occurring in the piping system).

This research describes the results of a set of suction measurements under controlled conditions, (i.e. known leak flow rate). The main findings are that a random error of less than $\pm 5\%$ is achievable and that the systematic error is possibly $\pm 15\%$. A possible source of the systematic error in this set of measurements is the long time to reach equilibrium suction condition. This leads to an overestimation of the leakage. It is expected that this systematic error can be reduced by carefully extraction gas out of the soil at larger distances around the leak. A suction measurement protocol is included in the report, taking this aspect, among others, into account. Other systematic errors are not yet fully excluded.

Suction measurement data set

From analysis of a historic Dutch dataset of suction measurements it appears that the standard deviation of each leak flow rate in the population of all leaks is about as large as the average. Further analysis (as well as a rule of thumb) suggests that about 20 measurements would be required to achieve a relative uncertainty of $\pm 25\%$ (with a relatively low confidence level of ca 0.8) in the estimate of the average leak flow rate.

Campaign advice

With regard to a measurement campaign the following recommendations are given:

- Use the suction measurement method according to protocol (annex II) to quantify the methane emission of selected leaks;
- The protocol must include removal of gas in a wide area around the leak;
- Expect to need about 20 leak flow rate measurements for each subcategory of leak type, in order to expect an accuracy in average leak flow rate estimate of 25%.

As the statistical uncertainty due to the variance of leaks flow rates in the field is larger than the uncertainty of the suction measurement, further development of the suction method is not urgently required. The suction measurement with a strict protocol to remove gas at larger distances from the leak is fit for its purpose. A direct way of improving the accuracy of the estimate of the amount of fugitive methane emission from buried gas distribution pipelines is to increase the number of suction measurements.

The suction method is inherently a relatively time consuming and thus expensive measurement. This precludes its application to all of the detected fugitive leaks. A



cost/benefit analysis could be used to determine the optimum number of leaks to be quantified, if more information on the variance in flow rate becomes available.

Therefore it is advised to implement a continuous measurement program, gradually covering all situations and gradually reducing the statistical uncertainties.

An additional advantage of a continuous program is that any change in the leak population (e.g. due to the aging of the network) is monitored and will become apparent. Also the attention to certain subcategories of leak types can be prioritized as warranted by intermediate results and for optimizing the measurement program. Analysis of the intermediate results should be part of the continuous program.

>



2 Project description

2.1 Introduction

Methane is a greenhouse gas that, when released into the atmosphere, contributes to climate change. The most important component in natural gas is methane. The GERG report "Analysing the Methods for Determination of Methane Emissions of the Gas Distribution Grid" contains an overview of European registration methods. Based on this overview, the development of a pan-European method is being conducted in a follow-up project "Development of an Accurate and Consistent Method for Methane Emission Estimation from the Gas Distribution Grid". In this GERG project various methods for the determination of methane emissions from, among other, underground pipelines have been identified and investigated.

Suction measurements to quantify underground leaks

For the quantification of the emission of methane from underground pipelines the method by suction sampling has been identified as widely used and effective. The measurement procedure consists of extracting a mixture of gas and air from the soil surrounding a leak using a high flow sampling technique and analysing the mixture to determine the leak flow rate of the underground leak. The measurement does not move any soil in the immediate neighbourhood of the leak and therefore has minimal influence on the leak flow rate.

A number of countries combine the results of a limited number of suction measurements with data of leak surveys to calculate an overall emission of the underground network of the mains.

Uncertainties in the current measurements

Current measurements show a large variation in leak flow rates. In high flow sampling techniques, variable soil conditions (e.g. cracks) and weather conditions (e.g. precipitation) potentially have a significant influence on the measurements. Also the factors Material, Pressure Level, Diameter and Age (or cause of the leak) and Soil Type (grain size) will have an influence.

As a result of these uncertainties, the latest GERG project on the development of a methane emission estimation method recommends to gain more knowledge and insight into underground leaks to get a more accurate estimate of the total emissions. This should lead to an European measurement program to quantify the underground leakages of pipes.

Objective

The main objective of the project of this report is to develop an European set of measurements of underground leakages to be used in a methane emission quantification method.

In order to reach that objective the following process with two phases is proposed: First the current set of measurements and the measurement method will be further analysed. Using this analysis a recommendation for a coordinated measurement program will be given which can be executed in a next phase. This report is about the first phase after which a Go/No Go decision is to be made.

2.2 Research questions

In this report - that covers phase 1 - the following research questions are addressed:

1. What is the accuracy of the suction method and how is this influenced by changes in the measurement protocol?
2. What is the influence of external conditions (wind, rainfall, soil) on the amount of leakage and the suction measurements?



3. What is the overall uncertainty in the average leak flow rate as expected from a given a set of well documented, suction measurements?

2.3 Approach of phase 1: Analysing, planning and recommendation

Statistics (analysis)

Describing the influencing factors by analysing the currently available set of measurements. The statistics will reveal the influence of factors such as pressure, material etc. The current uncertainty is identified by fitting the measurements to some parametrised statistical distribution functions.

Kiwa Technology has already developed a suitable statistical analysis method. A preliminary application of this method shows that the uncertainty in the population average of the estimated leak flow rate is significant (up to a factor 2).

As a consequence the calculated emission estimate also bears a significant uncertainty.

The effect of variations in the suction measurement method (such as the amount of air flow and position of sampling rods and wait time to steady state) will also be included in the analysis e.g. by means of computer modelling (see annex).

Limited number of suction measurements (validation)

In order to ascertain the validity of the model assumptions a limited number of suctions measurement under controlled and carefully documented (weather and soil) conditions will be performed. For this part of the project two controlled leaks in two different types of soil will be constructed on the premises of Kiwa Technology. The pressure of the leaks was initially planned to be varied between 100 mbar and 4 bar as does the leak flow through the hole. Due to experimental issues only measurements with a fixed pressure of approximately 100 mbar have been done.

During the measurement period the influence of wind and rain was recorded.

The initial plan was to measure every two weeks both leaks using the suction method until a total of 10 measurements per leak had been conducted. However, during the execution of the program, it became apparent that the distances over which the leakage was dispersed in the soil was larger than expected and it was impossible to operate both leaks simultaneously. Eventually 14 measurements were done.

The results provide a limited validation of the effect of variations in measurement conditions and an accuracy assessment.

Also the reproducibility of the suction measurement method is identified and a detailed suction measurement procedure is given. This procedure can be used in the coordinated measurement program in phase 2(see annex).



3 Measurements

3.1 Set-up

3.1.1 Site

The site for the measurements is located at the premises of Kiwa Apeldoorn (Figure 1, Figure 2, Figure 3). The distance to the nearest building is ca 10 m. The building is single storey 5m high.

Adjacent to the site are some low scrubs (2.5 m) and at larger distance (20 m) there are trees and a multi-story building (10 m height).



Figure 1 Site location, top view (red rectangle) Situation date ca. 2015. Source: Google Maps.



Figure 2 Site location, side view (red rectangle).

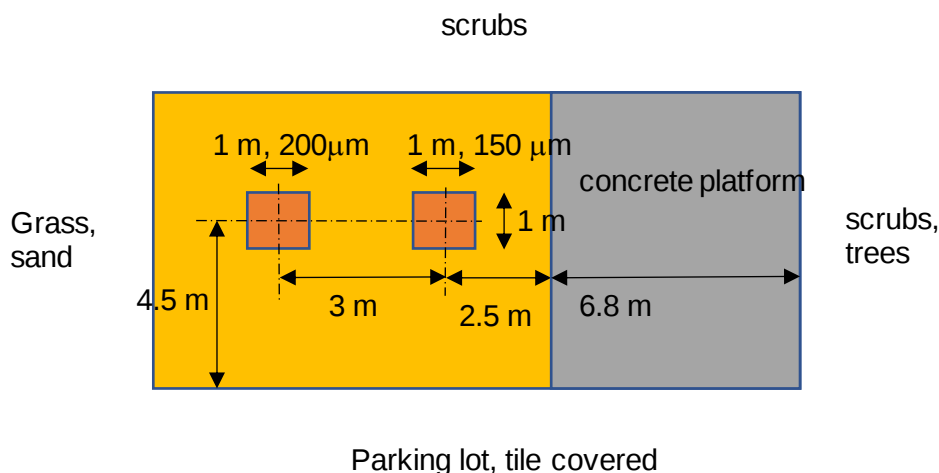


Figure 3 Site dimensions.

3.1.2 Soil

Two separate leak locations were prepared at the site. Each location comprises an area of approximate 1m x 1m filled to a depth of 1.5 m with sand of known and specified quality (see annex). The location was filled with 200 μm respectively 150 μm sand.

The sand was compacted in several stages during filling of the locations.

Several weeks after the initial filling of the locations, two small holes were dug, in which the leakage tubes were placed (Figure 8). The holes were filled again with the original sand and compacted manually in several stages.

3.1.3 Leaks

The leaks are constructed from copper tubing in which holes of various size are drilled (Figure 4, Figure 5, Figure 6). The tubes are made of 28mm copper pipes and are 30 cm long. A hole was selected in each of the four pipes that provided the desired approximate leakage at internal pressures between 30 and 200 mbar. The other holes were closed by soldering.



Figure 4 Set of pipes with various holes.



Figure 5 Detail of the pipe and a leak.

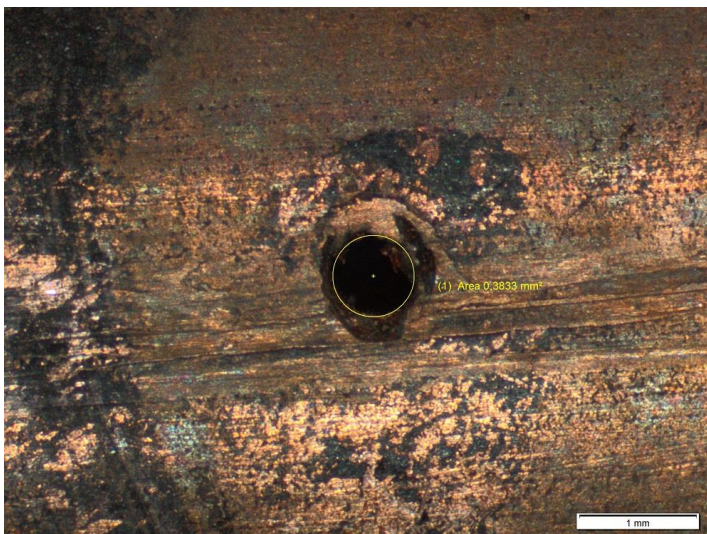


Figure 6 Detail of a leak hole. Macro photo with size indication (1 mm).

Due to imperfections of the drilling the leakage did not exactly correlate with bore diameter. The leakage was measured in a test box filled with the same soil as used at the test site. Leakage was measured as function of the pressure (for a typical result see Figure 7).

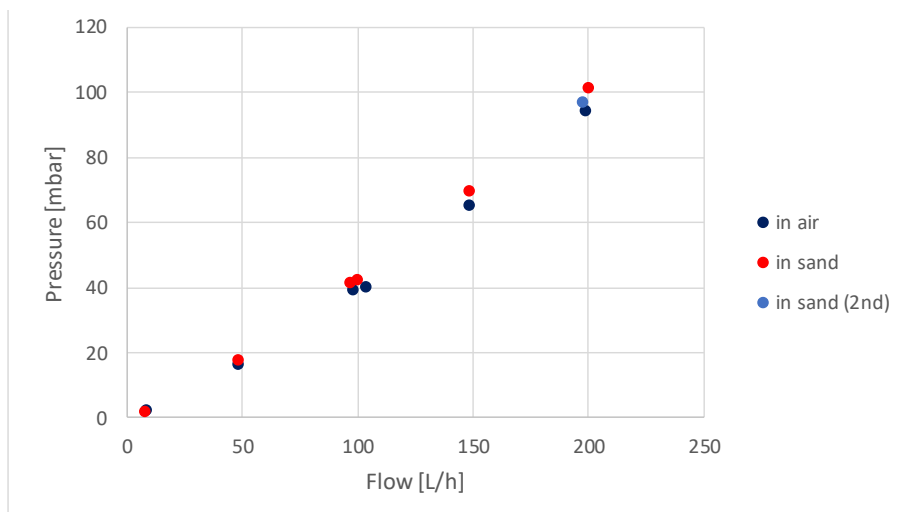


Figure 7 Typical relation between leak flow and pipe pressure. One measurement series of tube in open air (dark blue), a measurement series in sand (red) and a repeated experiment in sand with same tube buried and sand compacted again (light blue).

Care was taken to compactify the sand by applying pressure and adding and removing water. The repeatability of the effect of the sand burying the same leak several times was found to be limited. Most of the pressure loss occurs in the leak hole. The pressure loss in the sand is less than 10% of that value and varies with about a factor of 2 when repeating the experiment, as is apparent from comparison of the two typical measurement series in sand in figure 7. For example: at 200 L/h the leak pressure in open air the sand is 93 mbar and the two experiment with the buried leak show 97 and 102 mbar, a difference of 5 mbar respectively 10 mbar with the measurement in open air.

The relation between pressure and leakage is nearly linear, indicating that the flow through the leak behaves as laminar flow. This is a bit surprising, as the estimate Reynolds number at 200 L/h is about 7 000 (diameter 0.7 mm), which is well above the transition from laminar to turbulent in pipe flow as cited in the literature ($Re = 2900$). Possibly the length of the hole is not long enough to let the flow develop into turbulent flow.

The selected pipes are connected (Swagelok) to long flexible tubes ($\varnothing \frac{1}{4}$ ", 5 – 10 m). Two tubes are used for each pipe: one for the leak flow and one for pressure measurement.

At each leak site two pipes are buried side by side (Figure 8).



Figure 8 Positioning the leaking pipes in the soil (only a single one at a time was used).

3.1.4 Installation and instrumentation

For a detailed specification of the instruments used see table 1. A schematic of the installation is given in annex IV.

Instrument	Manufacturer	Type	Id.
Mass flow controller	Bronkhorst	FG-201CV-RAD-22-V-DA-000	M19213219B
Mass flow controller	Bronkhorst	FG-201CV-RAD-22-V-DA-000	M19213219A
Mass flow meter	Bronkhorst	F-106AZ-RAD-01-V	M19213219C
MFC control unit	Bronkhorst	E-8101-A-20-10-00	
Pressure regulator	Unknown	IR4015253 4PMX	330258
Pressure regulator	Unknown	IR4015250 4PMM	330268
Weather station (wind, temperature, precipitation, pressure)	Renkforce	WH2315	Not available
Suction pump	Esders	Vakumobil	156 – 07/13
Manifold + 9 valves	Kiwa		
Datalogger/PC	HP		
Methane monitor 1	Inficon	Irwin	
Methane monitor 2	Edinburg Sensors	Guardian NG	
Gas chromatograph	Interscience	Thermo Scientific Trace 1300 + TCD-detector	714530067

Table 1 Equipment used during the experiments.

The main measuring instruments are Bronkhorst mass flow controllers used in the monitoring mode. Two mass flow controllers (MFC) are used in the leak injection lines, continuously monitoring the gas flow in each of the leaks.

The leak gas flow is controlled by two pressure regulators.

Flow and pressure data was logged continuously during the duration of the experiments (sept – dec 2019) every 3 seconds.

Another high volume, low pressure drop mass flow controller was used to measure the total suction flow. Its data is logged during the actual measurement only.

The trend of the methane concentration in the suction mixture is measured using a Inficon Irwin methane detector. For the final measurement a Guardian NG of



Edinburg Sensors was used. The final sample in all the measurements is analysed with a gas chromatograph.

3.2 Results

The suction method was intended to be validated by measurements on two different leaks, emitting a known amount of methane, under a variety of weather conditions. During the validation of the suction method it became apparent at the first measurements that there was an unexplained excess of methane. Thus the planned set of measurements was changed to first identify the cause of the discrepancy. This was done by looking carefully at the possible source of systematic error and eliminating them as well as positively identifying the error.

Because the uncertainty of the suction method is largest with smaller leaks, the tests to identify the error were performed using the larger leak. The initial hypothesis was that an unknown leak source interfered with the measurements. No such source was detected. Another hypothesis was zero-drift of the methane sensor. Cross check with gas samples with a gas chromatograph did not indicate a zero-drift error. The final hypothesis was that gas that injected earlier contributed to the measurements, even after 6 h of suction and seemingly equilibrium conditions. Especially test 2810 indicated a very slow removal (> 48 h) of gas in the soil at distances larger than 2 m.

A final test provided the example picture of the situation (see Figure 9).

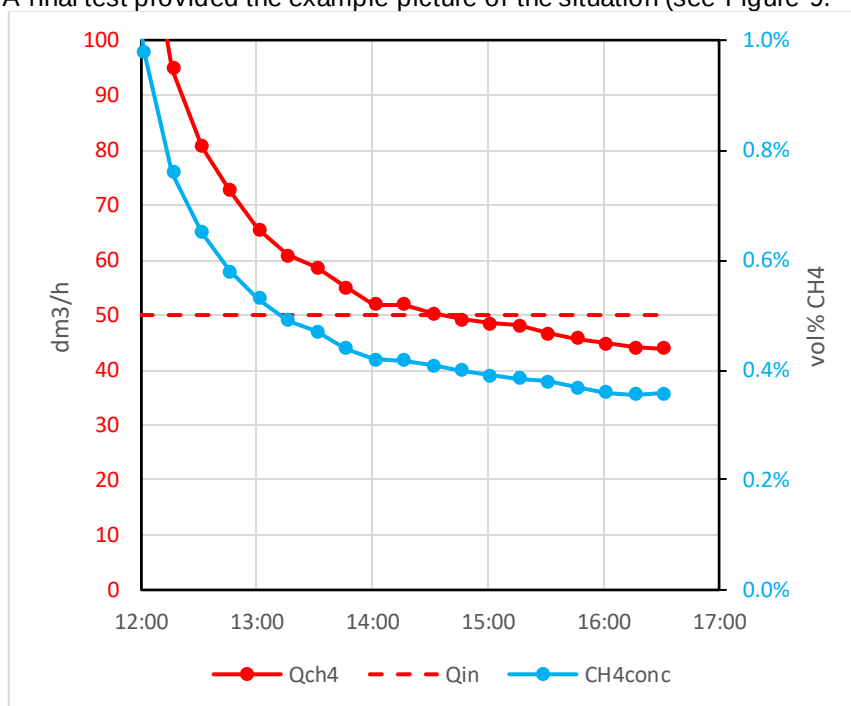


Figure 9 Suction flow as measured between begin and end of the measurement. Suction is terminated, according to protocol, at 16:30 when at two consecutive readings at 15 minutes interval no further decrease in concentration is registered. The suction was constant at 12 m³/h during the period.
Qch4: calculated leak flow rate from suction flow rate x CH4conc,
CH4conc: volume concentration methane in suction air

The number of measurements is necessarily limited and therefore it is hard to quantify all the effects, but the following observations summarize the tests:



- Weather conditions (rain, temperature) during the measurements or in the days before the measurement appear not to influence the detected leakage, indicating that any residual influence is less than 20%;
- Throttling the suction from 13 m³/h to 5 m³/h appears to decrease the detected leakage by 10%. Apparently a suction rate of 5 m³/h is not sufficient to capture all the leakage;
- Displacing all the 9 suction rods by 0.5 m from the leak appears to decrease the detected leakage by 10%;
- Suction for a significantly lower period than 6 h appears to decrease the detected leakage;
- Changing the suction depth from 0.5 m to 0.8 appears not to influence the detected leakage;
- The detected leakage appears (in most tests) to be systematically higher than the injected flow (10 – 20%), possibly indicating that equilibrium is not reached after nominal suction of 6 h;
- Initially the two leaks separated at 3m distance were operated simultaneously. After the first test the larger one was shut down. It cannot be excluded that the reservoir of that leak influenced the next few tests.

>



Measurement code	Protocol	Deviation		Remark
		$Q_{\text{suction}}/Q_{\text{in}}$ %	uncert. ±	
2009	Standard conf., no zero point correction conc. measurement	164.2	23.7	First measurement leak A, test of equipment (no GC measurement)
2509	Standard conf.	126.7	3.2	Check of repeatability leak A
2609	Standard conf, small leak	280.3	15.5	First measurement leak B
3009	Standard conf, small leak	268.0	18.5	Check of repeatability leak B
0210	Five rods only	133.0	3.6	Check for presence of additional gas source around leak A (influence of leak B)
0710	Five rods only, small leak	269.2	7.3	Check for presence of additional gas source around leak B (influence of leak A)
0910	Standard conf, 8 x 0.8 m depth, central rod at 0.5 m	121.3	2.7	Check of effect of suction depth (leak A)
1410	Standard conf, long measurement. Two samples: 0.74% after 6 h and 0.70% after 18h. Q_{in} fluctuates: 85 L/h at 6h, 92 L/h at 18h	93.5	2.0	Check of effect of long duration suction (leak A)
1710	Nine rods in circle at 0.7 m	111.4	2.4	Check for effect of different suction pattern (leak A)
2210	Standard pattern 0.5 m displaced, actual measurement only the 5 central rods used	95.6	13.8	Check for mispositioning of standard suction pattern (leak A) (no GC measurement)
2410	Standard conf (other leak closed). Nb conc fluctuated ca 10% and peaked around sampling	84.8	1.8	Standard suction measurement of leak A followed by check leak A closed and leak B physically closed. Inc carpetprobe measurement (8 x 0 ppm, 1 x 6 ppm)
2810	Control measurement with only 4 outside rods. Remark: after measurement the leak was closed and 24h later central rod sampled: 0.2% CH ₄ in sample during 1h!	7.2	0.2	Check for background around leak A (all leaks closed)
3110	Standard conf., reduced suction	108.2	4.7	Check for effect of reduced suction (leak A)
0611	Standard conf., reduced suction repeat measurement	98.6	4.4	Check of repeatability of measurement with reduced suction (leak A)
2204	Standard conf, fixed flow	88.6	2.0	Reference test with fixed flow (50 L/s) and new methane monitor

Table 2 Summary of measurement results (for standard configuration see Figure 29.(annex IV)



3.3 Analysis

In the next paragraphs the potential sources of error are listed. Conclusions are presented in 3.3.4.

3.3.1 Systematic errors

Systematic errors are the effects unaccounted for that compromise the accuracy of the measurement. The following potential sources of systematic error are identified:

1. Leakage between point of measurement of injected gas flow and leakage point in the soil. This would cause less gas to be extracted than assumed to be injected.
2. Methane content of the injected gas. The source of the gas is bottles of > 99.5% purity non-odorized methane.
3. Non-equilibrium between suction and injection. Before the actual measurement of the amount of leakage is taken, equilibrium between suction and injection must be established. Equilibrium is only reached asymptotically and the time constant depends on the amount of gas present in the soil and the amount of suction applied (see annex II).
4. Methane content of the extracted gas. The flow meter of the suction is calibrated with air. The methane content of the mixture causes an error (< 0.2% relative, see annex I).
5. Long and medium term drift of the sensors. The zero point of the flow and methane concentration measurement equipment is checked before and after each test and found to be negligible.

Any leakage between the tip of the suction rod and the suction flow measurement point will only be external air, due to the underpressure of the tubing and manifold. Therefore it has no effect on the calculated total amount of extracted methane.

3.3.2 Uncertainty

The measurement uncertainty is due to three main sources:

1. Uncertainty of the actual leak flow. The flow is measured using a mass flow controller (see annex)
2. Uncertainty of the methane concentration. The methane concentration is measured using a gas chromatograph (see annex I)
3. Uncertainty of the suction flow. The total suction flow is measured using a mass flow controller (see annex I)

For all instruments a calibration curve is available. The cited accuracy is treated as a random uncertainty and assumed to include the effect of temperature, variations in gas mixture (e.g. humidity) and other influences.

3.3.3 Impact of external conditions (weather)

The impact of external conditions is potentially twofold:

1. The flow resistance of the soil changes. As the leakage is pressure controlled this influences the leakage flow
2. The flow pattern changes, due to changes in ground water level and local saturation. On a somewhat larger time scale bacterial activity can block the gas flow locally and can even convert some methane in not measure carbon dioxide. This possibly influences the amount of not-extracted gas.

3.3.4 Discussion

During the suction procedure carpet probe measurements at the surface above the leaks and connection lines were occasionally performed. They showed no methane emission (<10 ppm), from which it is concluded that systematic error 1 (as listed in 3.3.1) is negligible at nominal suction.



The errors 2 and 4 contribute at most about 1% systematic uncertainty. For the systematic error 3 (non-equilibrium condition) there is no direct assessment, but simulations (see annex) indicate the possibility of an effect of more than 10%. Systematic drift of the instrumentation (error 5) is excluded.

Ad 3.3.2: The formulas used for calculation of the random uncertainty are well known and conventional (see annex I). These are used to obtain the uncertainties given in table 2. They are much smaller than the observed errors.

Ad 3.3.3: The injected volume of gas is measured during the suction tests. No variation in flow that correlated with actions (e.g. starting or stopping the suction, hammering the tubes in the soil, walking around the site) were observed, beside some incidental changes in pressure setting of the pressure regulators. This was random and apparently due to vibration and movement of the mechanical regulators. These changes were minor (<5%) and occurred only in the preparation phase of the measurement.

The major source of systematic error, and the one that can explain a measurement that is too high in the order of 10 – 20%, is that the suction process did not yet reach its equilibrium at the end of the test (after 5 – 6 h). This possibility is further confirmed by simulation (see annex).

It is observed that the error decreases during the months over which the test are taken. This is not fully explained, but could be due to the fact that the duration of gas injection prior to the actual test did vary per test, so the size of the 'gas reservoir' was not the same at the start of the various suction operations.

Based on this experience is it recommended to include in the test protocol a check to ensure that gas at a larger distances from the leak (between 3 – 5 m) is indeed removed.

Although it is plausible that the slow approach to equilibrium condition was the main cause of systematic error in these experiments, the tests do not prove the absence of other sources of systematic error. Further testing using a impermeably closed container with soil could give a more definitive proof.



4 Campaign analysis

4.1 Dutch data set

In the previous decades Kiwa has undertaken several small measurement campaigns with suction measurements on behalf of Netbeheer Nederland. These measurements are partly the basis for the estimate of average leak flow rate (as currently used as emission factor for the various types of .leak in the reported methane emission¹).

This is a dataset of 67 suction measurements, on nominal gas pressures between 30 mbar to 8 bar and various pipeline materials. Additionally concentration measurements with carpet probe are available. Generally no information of pipeline diameter or cause of the leak is available. Also location, soil and weather conditions are not directly available, although possibly to be retrieved when archived data sources are consulted.

As simple analysis provides the average leak flow rate of the various materials at the pressure stages of the Dutch network. As the number of measurements is very limited the standard deviation of the set of measurements can only be used as a rough indication of the uncertainty in the average leak flow rate.

It appears that the standard deviation is about as large as the average. As a rule of thumb this suggests that about 20 measurements would be required to achieve an relative uncertainty of +/- 25% (with a relatively low confidence level of ca 0.8) in the estimate of the average leak flow rate.

See Annex III for some more detailed analysis of how many measurements would be required to obtain a typical uncertainty, using a hypothetical leak flow rate distribution.

Nom.Pressure/Material	#	Avg (dm ³ /h)	Stdev (dm ³ /h)
30 mbar	18	123	128
AC	1	205	-
GCI	14	110	140
Nod. CI	3	161	67
70 mbar	1	46	-
GCI	1	46	-
100 mbar	29	60	116
AC	2	142	87
GCI	11	28	36
HPE	1	231	-
PE	2	49	69
u-PVC	4	172	275
m- PVC	6	15	12
Stell	3	19	11
1 bar	2	16	22
Nod CI	1	0	-
Nod CI (300mm)	1	31	-
3 bar	3	28	20
PE 63	1	49	-
PE80	2	17	11

¹ See e.g.: Methaanemissie door gasdistributie 2018 Netbeheer Nederland



4 bar	6	263	341
Nod CI	1	6	-
PE	3	268	367
PE 80	1	713	-
Steel	1	58	-
8 bar	8	451	730
Nod CI	1	581	-
PE100	1	0	-
Steel	6	504	836

Table 3 Analysis of data set suction measurements. Leak size in dm^3/h methane. 'Stdev' is the sample standard deviation.

4.2 General data sets

The analysis in annex III is valid for any European data set that is to be collected. And the results of the Dutch dataset might set a realistic expectation for the variability of leaks flow rates that occur.

Without introducing some physical and mechanical context it is fairly useless to speculate about the distribution of leak flow rates in a particular network. At least one should try and make a separation between various leak categories by cause (such as leak in a joint, corrosion or point load). The purpose of such a split is to provide a statistically homogeneous dataset for each of the various types of leaks. This would allow for a more smart combination of data from various networks and thus potentially improves the statistical uncertainty.

With sufficient empirical verification one could argue that the average leak flow rate is proportional to the (nominal) overpressure to a power of 0.5 or 1 (or a value in between). This would then allow to classify measurements of various pressures into the same category and to obtain a smaller confidence interval than using the separate data sets.

4.3 Measurement campaign advice

Based on the experience with the current experiments, the Dutch data set of suction measurement and the analysis presented in annex III, the following recommendations are given:

- Use the suction measurement according to protocol (annex II) to quantify the methane emission of selected leaks
- The protocol must include removal of gas in a wide area around leak
- Expect to need about 20 quantitative leak measurements for each subcategory of leak type, in order to expect an accuracy in average leak flow rate estimate of 25%

Considering the large variation in expected leak flow rates and the relative small contribution of the uncertainty of the individual suction measurement, further development of the suction method (although welcome) is not urgently required. A more direct way of improving the accuracy of the estimate of the amount of fugitive methane emission from buried gas distribution pipelines is to extend the dataset of suction measurements.

As the above recommendations implies a significant effort, it is advised to implement a continuous measurement program, gradually covering all situations and gradually reducing the statistical uncertainties.

An additional advantage of a continuous program is that any change in the leak population (e.g. due to the aging of the network) is monitored and will become apparent. Also the attention to certain subclasses of leak types can be prioritized as warranted by intermediate results and for optimizing the measurement program. Analysis of the intermediate results should be part of the continuous program.



5 Conclusions

5.1 Measurements

The uncertainty of the suction method is to be separated in a random and in a systematic component.

The random component consists of the uncertainties in the suction flow measurement and the concentration measurement and possibly intrinsic random variation of leakage during the measurement. Based on the specification of the equipment used and the calibration, the random uncertainty is estimated to be less than $\pm 5\%$.

The systematic uncertainty is dominant. An important source of systematic error is stopping the suction before equilibrium is reached. Simulations, extrapolation of measurement time series and comparison with known leakage suggest possible systematic errors in the order of $10\% - 20\%$.

From the measurements no indication of influence of weather and soil condition could be seen. Obviously, winter conditions with frozen soil are expected to compromise the measurement, but such condition were not part of this measurement program and are rather easily recognized and thus avoided in practice.

The measurement protocol has proven to be workable in its original form, although in hindsight a better control of the removal of gas in the soil at larger distance from the leak site appears to be required in order to reduce (the chance of) systematic error. The protocol (annex II) is adapted in this respect. With this protocol the suction method is fit for its purpose.

5.2 Dutch leak data set

It appears that the standard deviation of the leak flow rate in the population of all leaks is about as large as the average. As a rule of thumb this suggests that about 20 measurements would be required to achieve a relative uncertainty of $\pm 25\%$ (with a relatively low confidence level of ca 0.8) in the estimate of the average leak flow rate.

5.3 Campaign advice

With regard to a measurement campaign the following recommendations are given:

- Use the suction measurement method according to protocol (annex II) to quantify the methane emission of selected leaks;
- The protocol must include removal of gas in a wide area around leak;
- Expect to need about 20 quantitative leak measurements for each subcategory of leak type, in order to expect an accuracy in average leak size estimate of 25% .

As the statistical uncertainty due to the variance of leaks flow rates in the field is (much) larger than the uncertainty of the suction measurement, further development of the suction method is not urgently required. The suction measurement with a strict protocol to remove gas at larger distances from the leak is fit for purpose. A direct way of improving the accuracy of the estimate of the amount of fugitive methane emission from buried gas distribution pipelines is to increase the number of suction measurements.

The suction method is inherently a relatively time consuming and thus expensive measurement. This precludes its application to all of the detected fugitive leaks. A cost/benefit analysis could be used to determine the optimum number of leaks to be quantified, if more information on the variance in flow rate becomes available.



It is advised to implement a continuous measurement program, gradually covering all situations and gradually reducing the statistical uncertainties.

An additional advantage of a continuous program is that any change in the leak population (e.g. due to the aging of the network) is monitored and will become apparent. Also the attention to certain subclasses of leak types can be prioritized as warranted by intermediate results and for optimizing the measurement program . Analysis of the intermediate results should be part of the continuous program..

>



6 References

- Cornelia, B. (2000). Retrieved from [diffusion_in_porous_media__111209.pdf: http://www.fhi-berlin.mpg.de/acnew/departement/pages/teaching/pages/teaching_wintersemester_2011_2012/cornelia_breitkopf_diffusion_in_porous_media_111209.pdf](http://www.fhi-berlin.mpg.de/acnew/departement/pages/teaching/pages/teaching_wintersemester_2011_2012/cornelia_breitkopf_diffusion_in_porous_media_111209.pdf)
- Lee, P. M. (2004). *Bayesian Statistics 3rd ed.* New York: Arnold.
- WG_ME. (2019). *Assessment of methane emissions for Gas Transmission & Distribution System Operators.* Brussels: Marcogaz.

>



I. Calibration

Methane concentration (Gas chromatograph)

The GC used for the analysis of the gas is checked regularly and part of the calibration program of the chemical lab of Kiwa Technology.
The GC is calibrated using certified calibration gas mixture (example NG858: 0.8979 +/- 0.0045 mol% methane in air).
Correction for deviation of absolute pressure from reference conditions (1013.25 mbar) is applied.

For a mixture of 1 mol% methane in air a relative uncertainty of 1.3% is quoted (Bert Gerritsen personal communication 15 Oct 2019)

Suction flow (MFC)

F-106AI Mass Flow Meter
Model Key : F-106AZ-RAD-01-V
Productserie : IN-FLOW
Medium : Air (Lucht)
Range : 0.4...20 m³/h
Accuracy : ±1% full scale (at calibration conditions)

Methane injection (MFC)

Each leak is monitored by a mass flow controller.
The specification of the two MFC's is as follows:

MFC A

Model key : FG-201CV-RAD-22-V-DA-000
Serial number: M19213219A
Productserie : EL-FLOW Prestige
Medium : Mix: 81.3% CH₄ (Methaan) + 2.87% C₂H₆ (Ethaan) + 0.39% C₃H₈ (Propane) + 0.16% C₄H₁₀ #1 (Butane) + 0.05% C₅H₁₂ #3 (Pentane) + 14.33% N₂ (Stikstof) + 0.01% O₂ (Zuurstof) + 0.89% CO₂ (Koolstof dioxide) (mol %)
Range : 0.004...0.2 m³/h mixture = 0.005...0.2481 m³/h methane
Accuracy : ±(0.5% of measureant plus 0.1% v.d. full scale)(at calibration conditions)
Calibration certificate : 3-points calibration

The conversion factor from this gas mixture to pure methane is calculated using the conversion tool "Fluidat" provided by the manufacturer.

The full scale for pure methane of this MFC is 0.2481 m³/h.

MFC B

Model key : FG-201CV-RAD-22-V-DA-000
Serial number: M19213219B
Productserie : EL-FLOW Prestige
Medium : H₂ (hydrogen)
Range: 0.012...0.6 m³/h h₂ = 0.010...0.527 m³/h methane
Accuracy : ±(0.5% of measureant plus 0.1% v.d. full scale)(at calibration conditions)
Calibration certificate : 3-points calibration

The full scale for pure methane of this MFC is 0.527 m³/h.

For both MFCs the sensitivity for temperature and pressure is specified as zero:
< 0,02% FS/°C; span: < 0,025% Rd/°C and < 0,15% Rd/bar typical N₂; with pressure correction: < 0,02% Rd typical N₂

**Formulas used for uncertainty estimation.**

The relative accuracy A of a measurement is expressed as the ratio between the difference of the measured emission minus the applied injection divided by the applied injection:

$$A = \frac{Q_{suction} C_{methane}}{Q_{leak}} - 1$$

Therefore the uncertainty in the relative accuracy δA is related to the uncertainty in the primary measurements $\delta Q_{suction}$, $\delta C_{methane}$ and δQ_{leak} as:

$$\left(\frac{\delta A}{A + 1}\right)^2 = \left(\frac{\delta Q_{suction}}{Q_{suction}}\right)^2 + \left(\frac{\delta Q_{leak}}{Q_{leak}}\right)^2 + \left(\frac{\delta C_{methane}}{C_{methane}}\right)^2$$

According to the information from the calibration, we take the uncertainties as:

$$\delta C_{methane} = 0.013 C_{methane,rd}$$

$$\delta Q_{suction} = 0.01 Q_{suction,fs} = 0.2 \text{ m}^3_n/h$$

$$\delta Q_{leak} = 0.005 Q_{leak,rd} + 0.001 Q_{leak,fs}$$

Where:

For MFC A: $Q_{leak,fs} = 0.2 \text{ m}^3_{nCH_4}/h$

For MFC B: $Q_{leak,fs} = 0.8 \text{ m}^3_{nCH_4}/h$

Note: the suction flow measurement is based on the calibration of air. No correction is made for the methane content. This introduces a systematic error. According to the manufacturer the relative error at 1 vol% methane is 0.2%, due to the different thermal properties of methane versus air.

Sand.

The grain size distribution of the sand used in the experiments is specified in the two reports below.

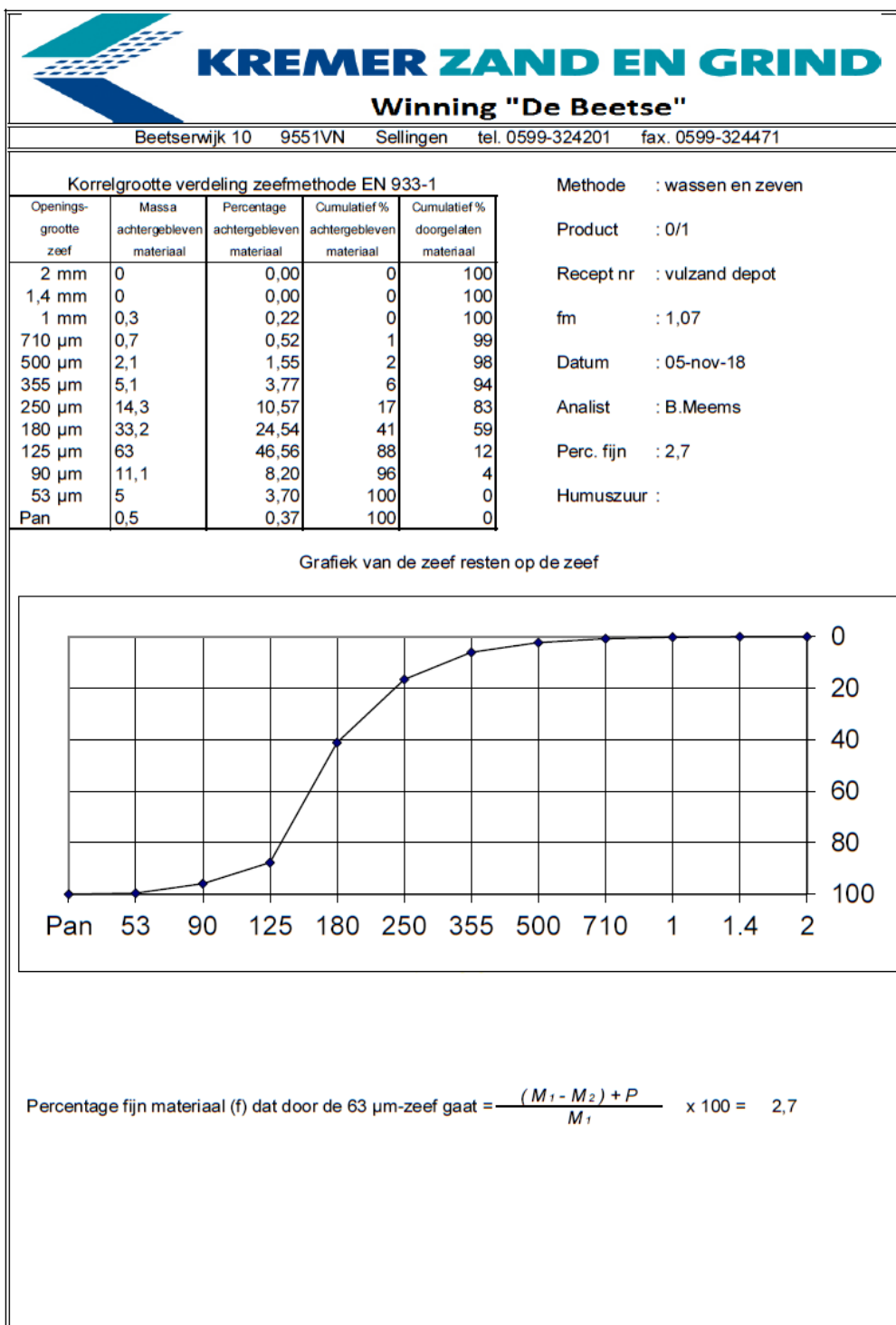


Figure 10 Specification of the batch of 150 µm grained sand

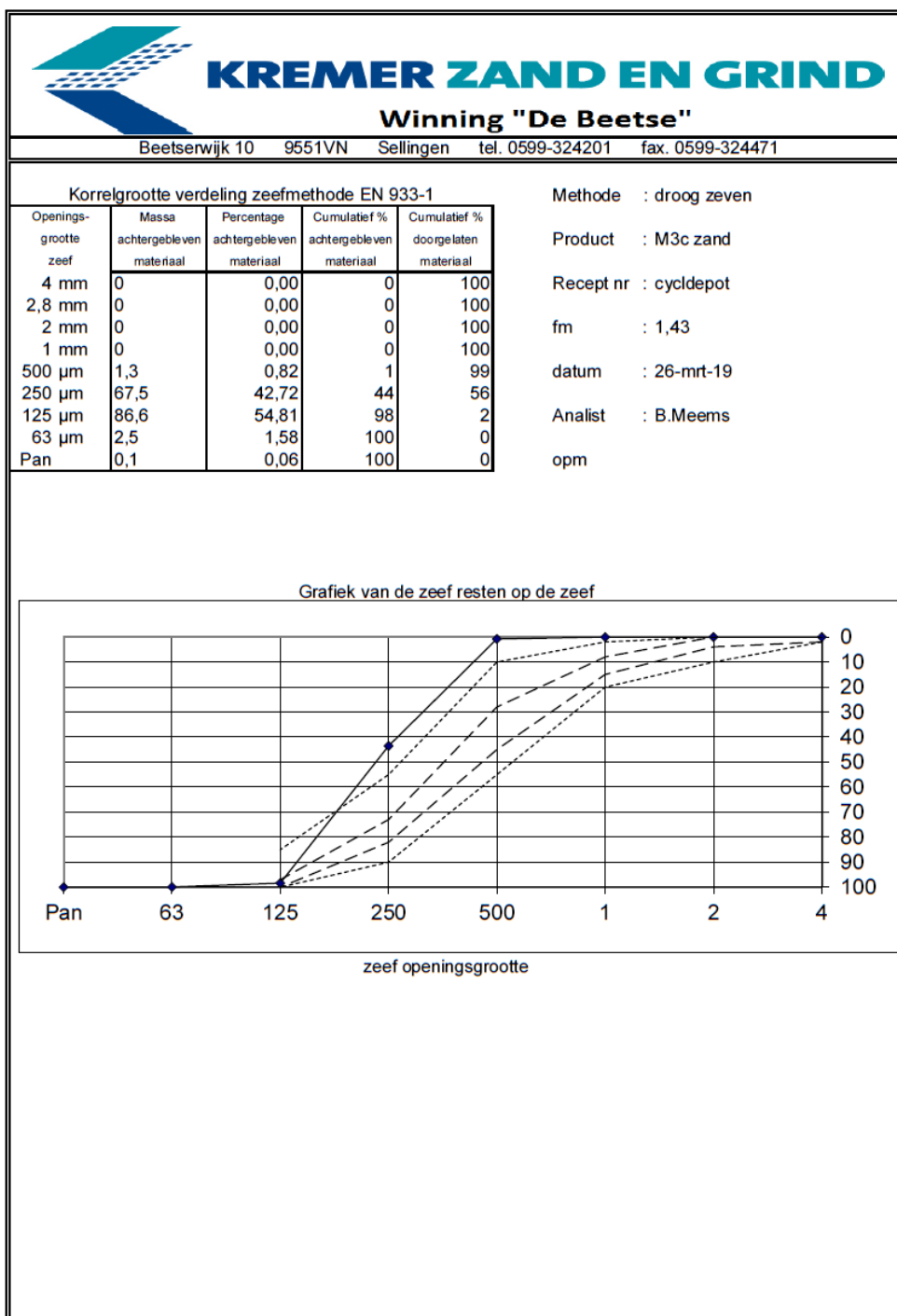


Figure 11 Specification of the 200 µm grained sand



Soil cone resistance test.

At 25 February Fugro B.V has performed a set of 11 manual sounding tests in the neighborhood of the leaks on the premises of the Kiwa test site. One of the 11 soundings did not return useful results, due to instability of the soil. In two soundings (nr 4 and 9) very small soil resistance was encountered in the top 1½ m of the soil. Debris in the soil was found in tests nr 3, 6, 7, 8 and 10, resulting in gaps in the measure profiles as the debris has to be removed to allow the deeper sounding to proceed.

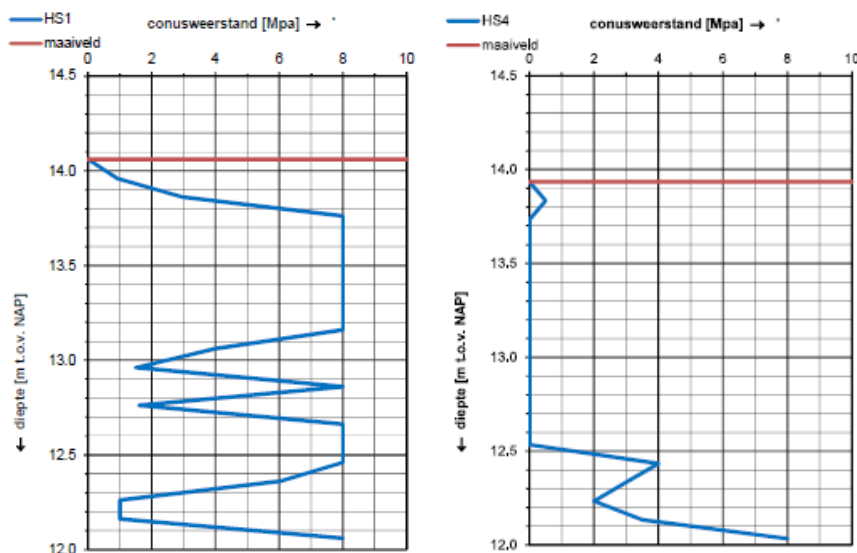


Figure 12 Typical cone resistance measurement (2 out of 10 available tests)

The soil was found to be variably compacted in layers. Resistance varied between 0 – 8 MPa as measured using a cone size of 1 cm².

Reference: Kiwa NL Monitoring terrein Apeldoorn, Rapportage Grondonderzoek
Fugro Report 1420-162976, 3-3-2020



II. Simulation by particle diffusion

In a typical suction measurement, gas/air mixture is extracted from soil at a constant rate until an equilibrium concentration is perceived to be reached. The value at the end of the suction process is used in the estimate of the leak rate. Some reasonable choice must be made, weighing the cost and duration of the measurement against a further reduction of error. There is some concern that a long tail of slowly decreasing gas concentration occurs during the extraction process, and that this masks, to the eyes of the experimenters, the real, lower equilibrium. In order to study the potential influence of a large reservoir of leaked gas around the leak that is being sampled in the course of the suction process, a numerical simulation was performed.

The simulation comprises a three-dimensional, time dependent simulation of gas flowing in a infinite disk of soil of 2 m thickness.

The leak is a point source of $0.108 \text{ m}^3/\text{h}$ in the centre of the disc at a depth of 0.8 m. The leak fills the initially gas-free soil during 10 days (240 h). After this period the suction starts, using one suction tube near the leak and four tubes around the leak (see figure). The suction points are located at 0.5 m depth and each tube evacuates $0.22 \text{ m}^3/\text{h}$.

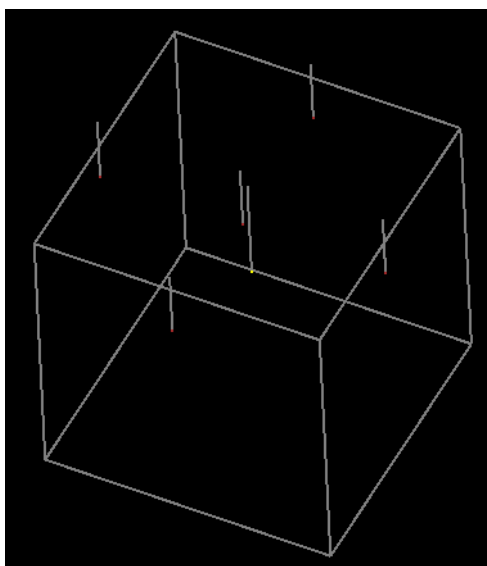


Figure 13 Schematic drawing of the location of the leak (0.8m depth, yellow dot) and the five suction points (0.5 m depth, red dots). The box is $2\text{ m} \times 2\text{ m} \times 2\text{ m}$ ($l \times w \times h$). The box and vertical white lines are for reference only.

Assuming a zero flow boundary condition at the bottom of the domain (the 'ground water table'), and a zero pressure at the top of the domain (the surface), incompressible flow and a uniform porous soil, the average streamlines can readily be calculated, using a set of positive and negative point sources, at suitably reflected positions with regard to the upper and lower domain boundaries that induces a potential (Darcy) flow. Additional to that deterministic flow, diffusion is simulated with a random walk Monte Carlo process of test particles, each representing a small volume of gas (typically 10^{-4} m^3).

As diffusion coefficient is taken the value of dilute methane in air. A correction is made for the effects of porosity and tortuosity of the soil. Typically the effective diffusion D_{eff} is calculated as:



$$D_{eff} = \frac{\epsilon}{\tau} D$$

Where ϵ is the porosity and τ the tortuosity. Both depend on the shape and sizes of the grains in the soil. For a porous bed of approximately spherical particles $\epsilon = 0.416$ and $\tau = 1.56$, $D = 0.21 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ (Cornelia, 2000). This implies that the effective diffusion is about one quarter of the diffusion of the gas in air.

Distribution of gas in soil

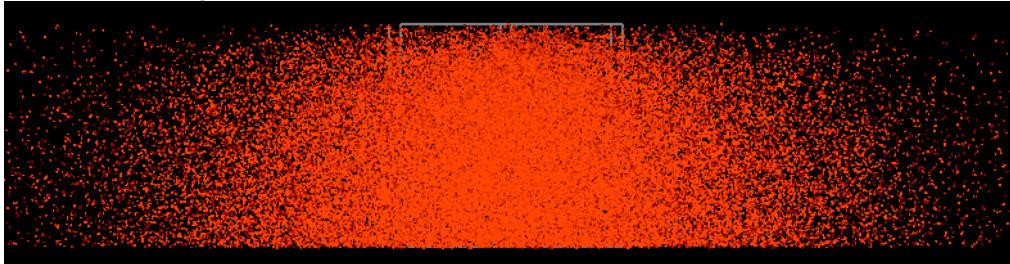


Figure 14 Distribution of gas in soil after 192 h continuous injection of $0.108 \text{ m}^3/\text{h}$. Side view of simulation of ca 92.000 particles. Box size is $2 \text{ m} \times 2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$.

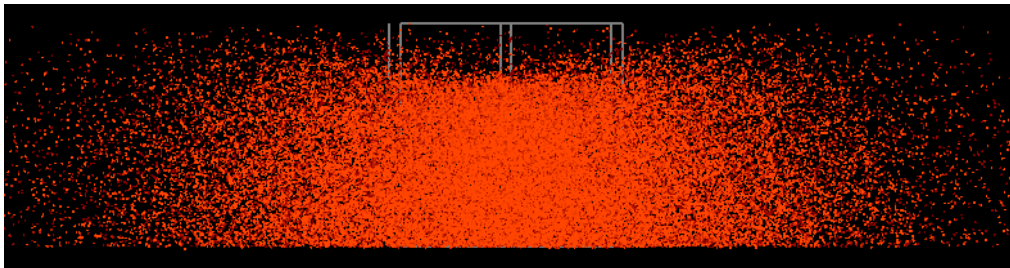


Figure 15 Distribution of gas in soil 0.5 h after start of suction ($5 \times 2.88 \text{ m}^3/\text{h}$)

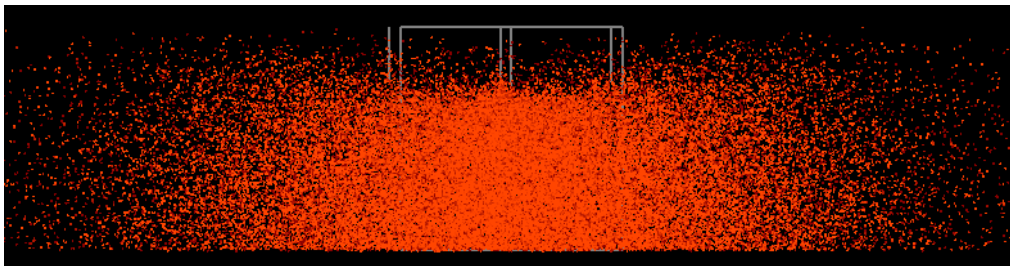


Figure 16 Distribution of gas in soil 1 h after start of suction ($5 \times 2.88 \text{ m}^3/\text{h}$)

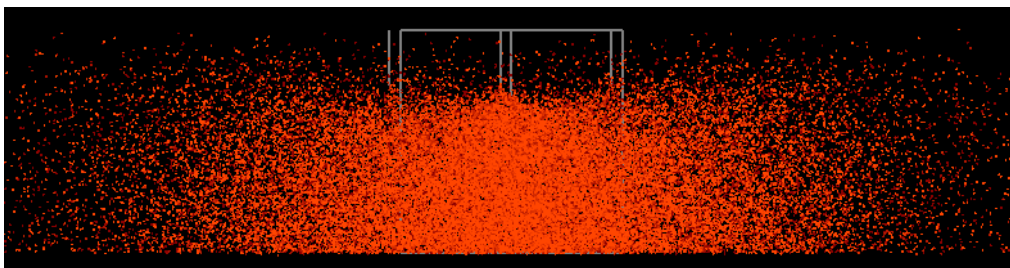


Figure 17 Distribution of gas in soil 2 h after start of suction ($5 \times 2.88 \text{ m}^3/\text{h}$)

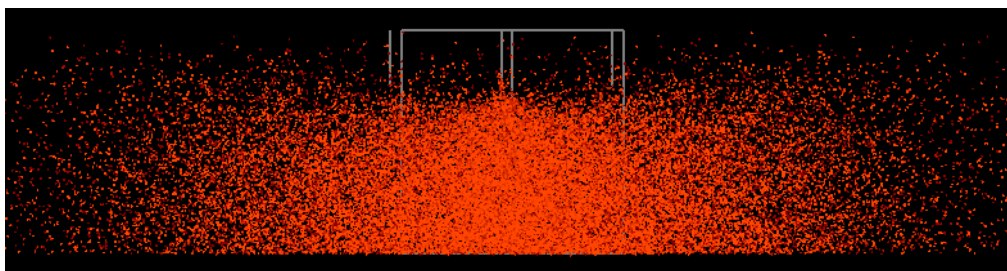


Figure 18 Distribution of gas in soil 3 h after start of suction ($5 \times 2.88 \text{ m}^3/\text{h}$)

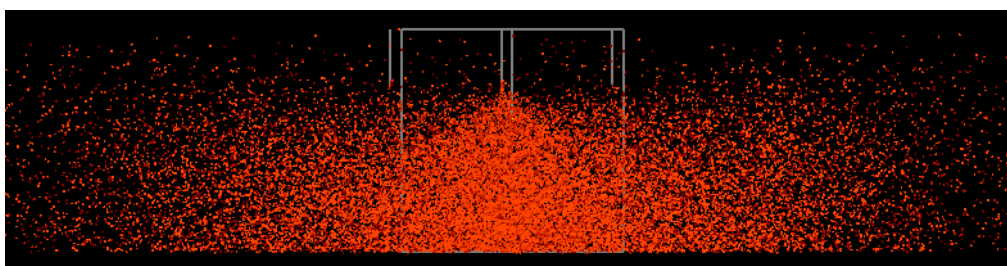


Figure 19 Distribution of gas in soil 6 h after start of suction ($5 \times 2.88 \text{ m}^3/\text{h}$)

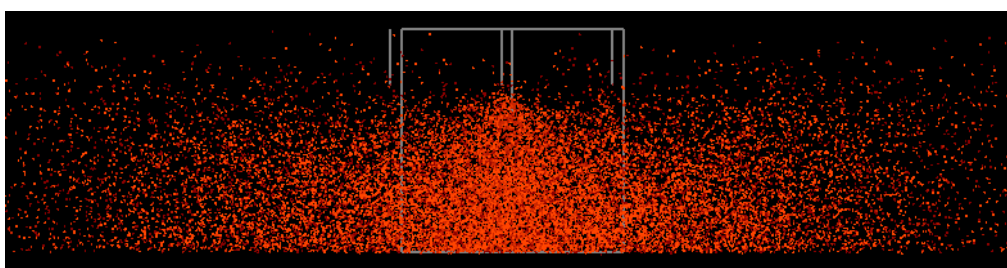


Figure 20 Distribution of gas in soil 9 h after start of suction ($5 \times 2.88 \text{ m}^3/\text{h}$)

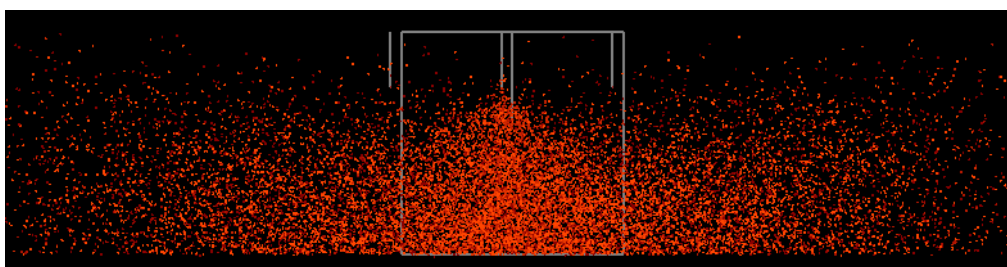


Figure 21 Distribution of gas in soil 12 h after start of suction ($5 \times 2.88 \text{ m}^3/\text{h}$)

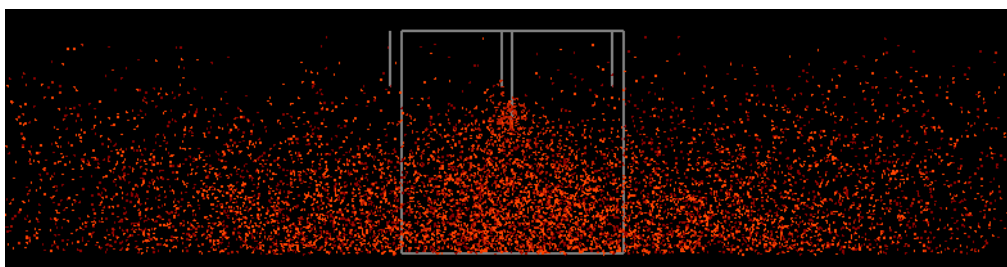


Figure 22 Distribution of gas in soil 21 h after start of suction ($5 \times 2.88 \text{ m}^3/\text{h}$)

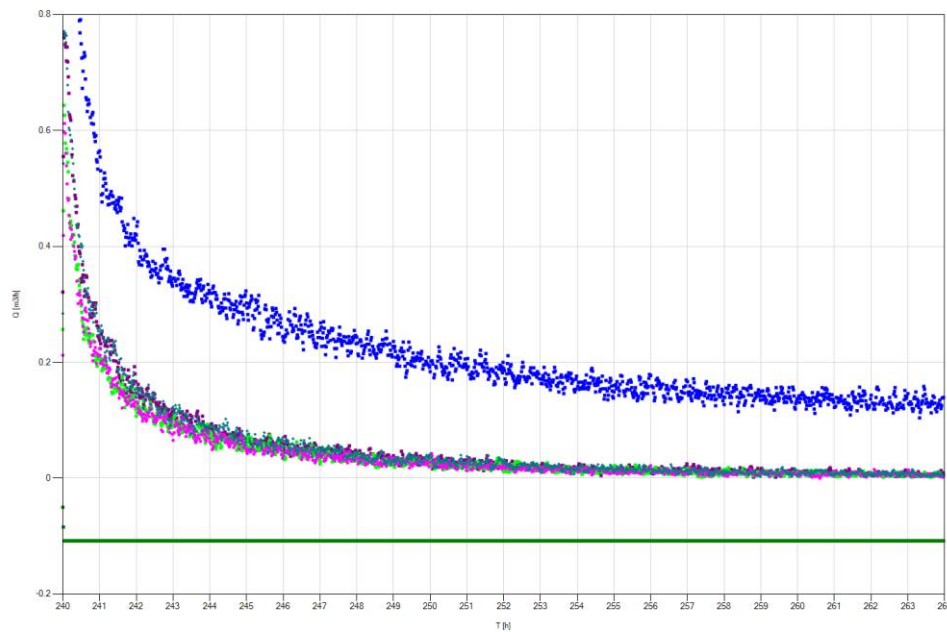


Figure 23 Injected gas flow (green line) and evacuated gas flow (blue and 4 other coloured markers). At equilibrium the sum of the blue + purple + violet + light green + sea green emission is equal to the negative value of the green line. A approximately 40% accuracy appears to be reached after about 24 h (see also next figure).

Note $T=0$ h is start of injection (leak), $T = 240$ h is start of suction.
Simulation ends at $T=264$ h.

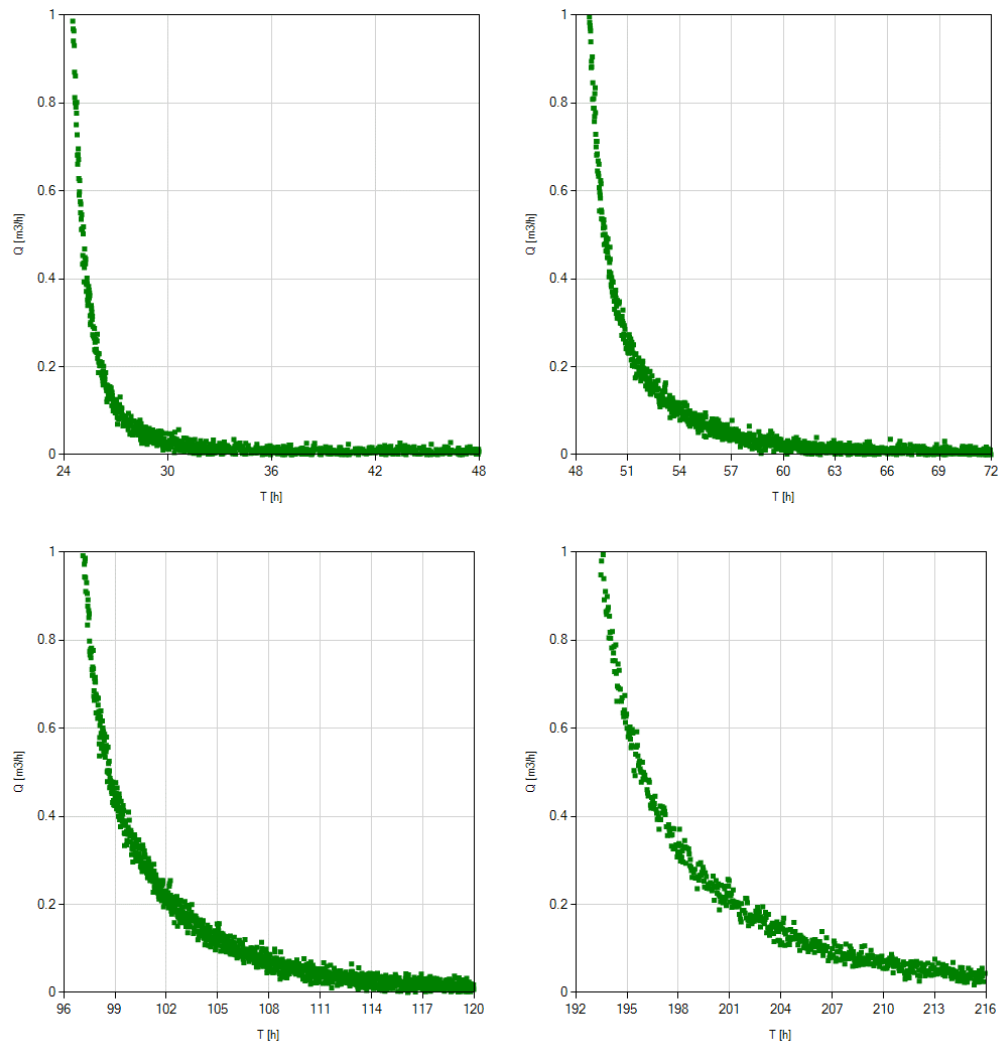


Figure 24 Imbalance between injection and suction (same scale as previous figure, but filtered over 5 minutes). Injection time before suction start: 24 h, 48 h, 96 h and 192 h.

Conclusion.

For the condition of the calculation, it appears that in this model even after a suction period of 24 h there is still a significant imbalance between injected and evacuated gas flow. The imbalance depends on the duration of injection before the suction starts and is apparently due to the reservoir of gas in the soil created during the injection period. In the case of an injection period of 8 days (192h) the imbalance after 24 h of total suction of 14.4 m³/h is still approximately 0.04 m³/h. This is 40% of the injection (0.108 m³/h)



III. Sample size

Two sources of uncertainty are of relevance for the determination of the average leak flow rate (WG_ME, 2019). These are:

- the uncertainty of the leak flow rate measurement itself
- the (unknown) distribution of the leak flow rates in the field.

Both uncertainties can be broken up in multiple parts. For the leak flow rate distribution in the field one would preferably distinguish between leaks of various causes, materials, diameters, gas pressure and environmental conditions (e.g. soil grain size, moisture content). The relevant assumption is that the set of leak data are a statistically homogenous group of data. Establishing and proving statistically homogeneity, however, is a challenge in itself and is not addressed here.

The uncertainty in average leak flow rate is reduced by increasing the number of independent samples. In principle, with the exclusion of the effect of systematic errors, the uncertainty in the average leak flow rate reduces, when a sufficient large number of samples is available, with the square root of the number of samples taken.

The detailed strategy of collecting an optimal variety of samples is the topic of phase 2 of the project. But to indicate the magnitude of this task we include in this annex some calculations of distributions and sample sizes with the associated uncertainty.

In these examples the measurement uncertainty is set to zero and only the effect of the shape and width of the distribution of leak flow rates is taken in consideration. With a non-zero measurement uncertainty the total uncertainty in the average leaks size is always larger.

Method.

A distribution of leak flow rates is specified. (e.g. a lognormal distribution with an average of 1 kgCO_{2eq}/h and a standard deviation of 50%).

A specified, relatively small amount, of samples (e.g. 10) is taken randomly from this distribution and their average is calculated. This procedure is repeated a large number of times (e.g. 100000)². This set of averages is in itself another distribution, of which the statistical properties (e.g. mean, median and 5percentile bounds) are taken. These properties reflect the uncertainty in experimental determination of the average leak flow rate using a given sample size and assuming a given leak flow rate distribution.

This is a theoretical exercise. If we knew the leak flow rate distribution there would be no need to perform measurements in the first place. If we would have physical and theoretical reasons to assume a certain family of distributions (e.g. lognormal), we could try a best fit of the parameters of this family (mean and standard deviation) to the measurements and reconstruct the expected mean leak flow rate. This would introduce additional uncertainty. For such a procedure the paradigm of Bayesian Statistics. (Lee, 2004) provides a suitable framework.

Example 1. Lognormal distribution (unimodal)

As leaks typically have only positive outflow, it makes sense to assume a distribution with a positive support (0, +∞) only. A suitable distribution is a lognormal distribution. In this example we assume a lognormal distribution of a mean of 1 kgCO_{2eq}/h and a relative standard deviation of 50%. The PDF and CDF of this distribution are shown in the figure below.

² A similar method is also suggested in the annex of the Marcogaz report (WG_ME, 2019)

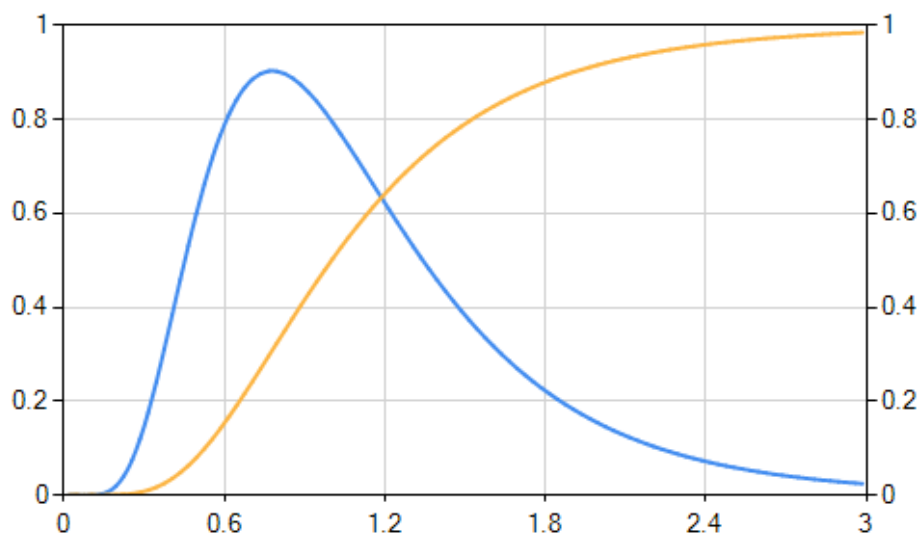


Figure 25 Assumed probability density function (blue) and cumulative distribution function of leak flow rates in a particular, statistically homogeneous set of leaks. Horizontal scale in kg/h.

Using this distribution the uncertainties in the estimate of the leak flow rate (which is 1.13 kg/h) for various samples sizes is given in the table below.

#Samples	1	3	10	30
<Average>	1.13	1.13	1.13	1.13
<Median>	1.00	1.08	1.12	1.13
<-5perc>	0.44	0.66	0.85	0.96
<+5perc>	2.28	1.78	1.47	1.32

Table 4. Statistics of the estimate of average leaks flow rate in $\text{kgCO}_2\text{eq/h}$ using #Samples, assuming the leak flow rate distribution of Figure 25 and 1 000 000 trials.

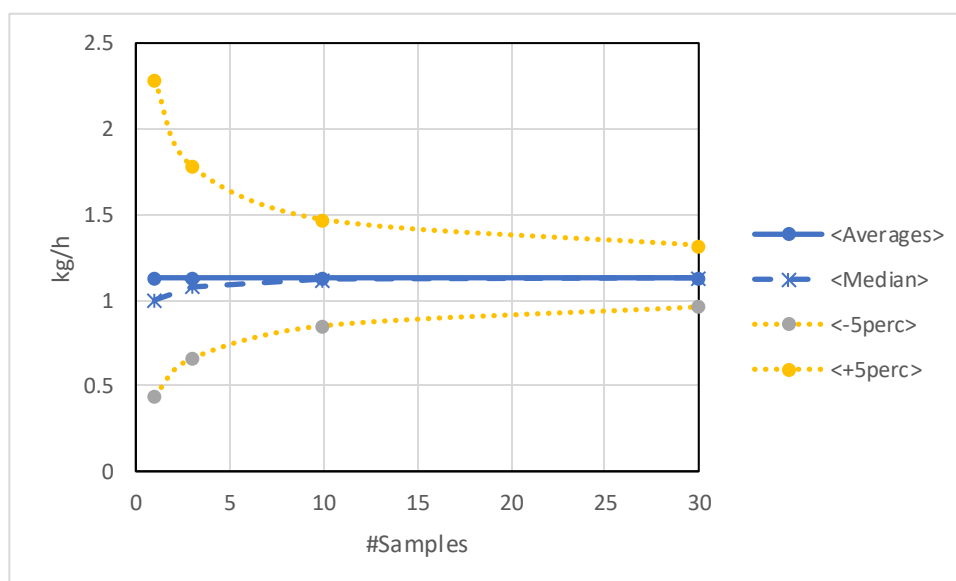


Figure 26 Statistics of the estimate of average leaks flow rate using #Samples, assuming the leak flow rate distribution of Figure 25.



The table and figure show that, with this assumed distribution, there are approximately 30 samples needed to obtain an estimate of the average leak flow rate with an uncertainty of about 15% and a confidence level of 90%.

Example 2. Sum of two lognormal distributions (bimodal)

Usually unimodal distributions are used and they are often intuitively preferred for reason of simplicity ('Occam razor').

Nevertheless, if there is more than a single physical mechanism that produces leaks, multi modal distributions become plausible. One can e.g. consider leaks due to corrosion and leaks at joints due to soil movement. A specific distribution can be associated with each cause (and there can exist some interaction too).

We therefore introduce an example where 80% of the, typically smaller, leaks follow one, relatively wide, lognormal distribution and 20%, typically larger leaks, follow another more narrow lognormal distribution (see figure),

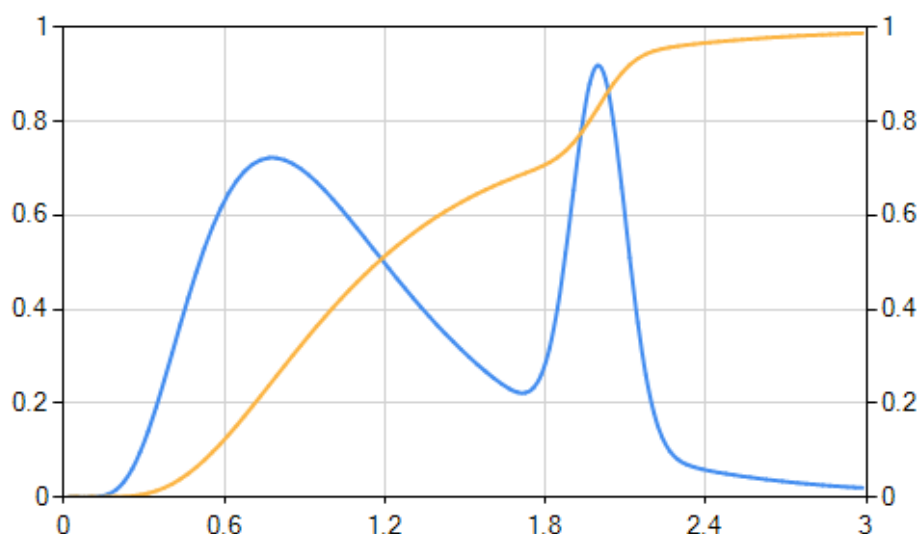


Figure 27 Assumed probability density function (blue) and cumulative distribution function leak flow rates in a particular statistically homogeneous set of leaks.

Using this distribution the uncertainties in the estimate of the leak flow rate (which is 1.31 kg/h) for various sample sizes as given in the table below.

#Samples	1	3	10	30
<Averages>	1.31	1.31	1.31	1.31
<Median>	1.17	1.28	1.30	1.30
<-5perc>	0.46	0.74	0.99	1.12
<+5perc>	2.20	1.95	1.65	1.50

Table 5 Estimates of the statistics for average leaks flow rate using #Samples, assuming the leaks flow rate distribution of Figure 27 and 1 000 000 trials.

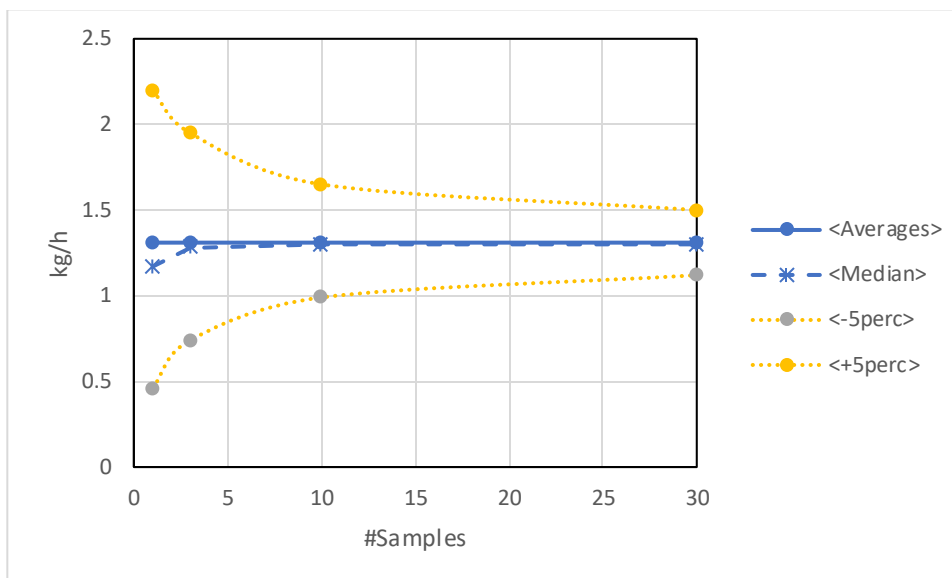


Figure 28 Statistics of the estimate of average leaks flow rate using #Samples, assuming the leak flow rate distribution of Figure 27.

The table and figure show that, with this assumed distribution, there are approximately 30 samples needed to obtain an estimate of the average leak flow rate with an uncertainty of about 20% and a confidence level of 90%. Because of the additional leak cause that introduces, on the average, larger leaks, obviously the average leak flow rate increases and also the estimate of the average leak flow rate increases. Also the uncertainty increases, compared to the previous example.

Cost benefit analysis.

There is as yet no direct financial incentive to report lower methane emission, so any financial cost benefit analysis is slightly arbitrary. However, here we sketch a possible quantified approach.

Assume:

- The cost per reported estimated emitted $\text{kg CO}_{2\text{eq}}$ is 0.02 €/kg.
- Estimation has to be reported with a 95percentile uncertainty interval.
- A single reference measurement costs 2000 €
- The leak emergence rate of a pipeline (of a given category) is 0.01 km/y
- The total length of that particular category pipeline is 5000 km.
- The occurring leak flow rates are distributed according Figure 27 and we may use figure 26 to assess the uncertainties that are due to the spread of the distribution and the uncertainty in the reference measurements
- A leak survey costs 50 €/km
- There is no explicit cost of lost methane

If 5 reference measurements are available, we have to base our reporting on the assumption that the average leak flow rate is 1.8 kg/h. If 10 reference measurement are available we are allowed to use a value of 1.6 kg/h.

If we perform a leak survey once every 5 yr, we expect to locate 250 leaks. We assume that we are allowed to calculate with 50% of that number as the average number of leaks present on average of the last 5 years. So we report 125 leaks

If we perform a leak survey once every 2 yr, we expect to locate 100 leaks. We assume that we are allowed to calculate with 50% of that number as the average number of leaks present average of the last 2 years. So we report 50 leaks.



A comparison of the costs of the 4 options (5 or 10 reference measurements, 2 or 5 year interval leak survey) is shown in the table below.

Option	Cost ref meas [€]	Cost survey [€/y]	Cost emission [€/y]	Payback time [yr]
5 ref meas + 5 yr interval	€ 10,000	€ 50,000	€ 39,420	
10 ref meas + 5 yr interval	€ 20,000	€ 50,000	€ 35,040	
Difference	€ 10,000	€ 0	-€ 4,380	2.28
5 ref meas + 2 yr interval	€ 10,000	€ 125,000	€ 15,768	
10 ref meas + 2 yr interval	€ 20,000	€ 125,000	€ 14,016	
Difference	€ 10,000	€ 0	-€ 1,752	5.71

Table 6 Calculate payback time for (additional) reference measurements

It is perhaps worth pointing out that leak repair costs are independent of which option is chosen. Leak emergence is always the same and each leak that occurs has to be repaired sooner or later.

Another observation is, that (when not calculating with NPV, net present value), any expenses in reference measurements are eventually profitable.

Finally, obviously, the payback time of any expenses for reference measurement is inverse proportional to the average flow rate of the leak and the number of leaks actually occurring.



IV. Proposed measurement protocol

Equipment.

The complete list of equipment needed for field measurements is:

1. Suction rod
2. Flexible tubing
3. Header with valves
4. Filter
5. Flow measurement device incl. read-out
6. Methane concentration monitor incl. read-out
7. Suction pump
8. Manometer (underpressure)

(Minimum) auxiliary equipment is:

- 1 Hammer
- 2 Measuring tape
- 3 Sample bags
- 4 Calibration gas (1% methane in dry air)
- 5 Calibration gas (10% methane in dry air)
- 6

Conditions

- The location of the leak (xy) must be known within reasonable tolerance (better than 0.3 m)
- The location of the leak (z) must be known with reasonable certainty to be between 0.3 and 1 m below surface
- The source of the leakage must be known beyond reasonable doubt to be a specific gas pipeline
- The soil must be sufficiently dry to avoid clogging of the suction tubes, tubing and filter
- The methane concentration of the gas in the pipeline must be known or determined

Procedure

Set up

1. Suction tubes
 - a. The suction tubes are pressed or hammered into the soil to a depth of 50 cm (see indicator ring around the tube)
 - b. The default pattern is shown in the figure below. The central tube is positioned on top of the leak

Note for Kiwa site: variations on the default pattern are part of the experiments

Note: If possible, check for the presence of gas in the soil at larger distance (2 – 5 m) around the leak location. If such gas is present, additional suction tubes at larger distances around the leak location are recommended for use in the initial phase of suction in order to reduce the time needed to reach a equilibrium between suction and leakage.

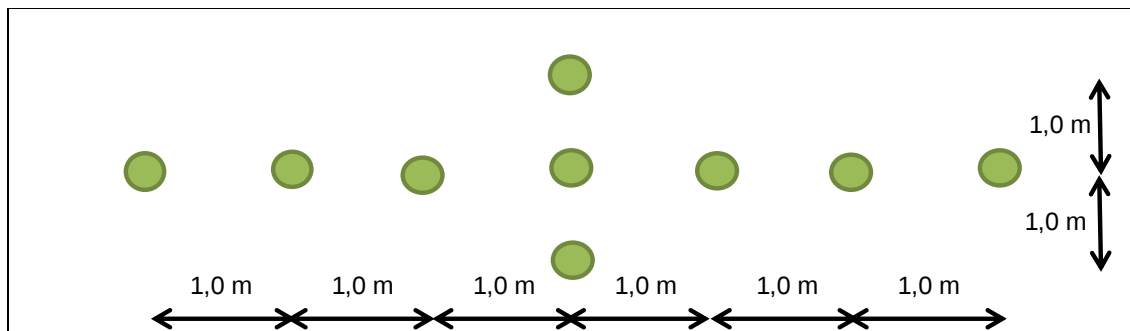


Figure 29 Schematic drawing of the pattern of suction locations. The central rod is located on top of the leak..

2. Header. All suction tubes are to be connected individually to the central header. Connect the header to the suction pump using a single line.
3. Suction pump. The suction pump has an input filter. Check for the presence of moisture in the filter and remove water and droplets before starting the pump (check again and remove any water direct after the measurements).
4. Flow meter. Connect the outlet of the suction pump to the inlet of the flow meter. Also connect the electronic control/read out-unit to the flow meter. The read-out is in m^3/h (air).
5. Gas concentration monitor. Use the side branch of the T-joint to connect the outlet of the flow meter to the inlet of the gas (methane) concentration monitor.
Note for Kiwa: The use mode of the Irwin Inficon gas concentration monitor is the setting "bovengronds lekzoeken".
6. Suction blow off. Connect the main branch of the T-joint to the blow off pipe.

Measurement process

1. Take a photo of the measurement site, showing the configuration of the suction tubes.
2. For this, the box containing the mass flow controllers need to be opened. Wear an operational personal methane detector when doing this.
For Kiwa site only: close the supply to the other leaks.
3. Disconnect the line between the suction pump and the flow meter and connect it to the blow-off. Start the pump and check during 5 minutes that no water collects in the lines between the suction rods and the pump and in the filter. If all remains dry then reconnect the line, otherwise postpone the measurement (and inform the project leader / customer)
4. Start the pump. Check all connections for (audible) suction of external air.
5. Check if data logging is operational (computer program running), and mark the start time in the report
6. Mark the flow and concentration every 15 minutes.
7. For Kiwa site only: close each of the valves of the suction tubes on the header one by one. If the total leak flow (concentration x flow) increases, keep the valve closed, otherwise reopen it. Do this until the flow becomes too small ($< 6 \text{ m}^3/\text{h}$).
Remark: the methane concentration will start to decrease. The reading of the Irwin methane meter is problematic. It will be 3 figures when below 1000 ppm. Above 1000 ppm it switches to a reading in percent, using a resolution of 0.1 %. This resolution is hardly sufficient to discern a decreasing trend.
8. Start doing, after three hours and if the gas concentration is between 0.1 and 0.9 vol%, the following actions every 15 minutes:
 - Register the values of flow and concentration at full suction capacity.
 - Throttle the flow using the slider on the header to $1 \text{ m}^3/\text{h}$ and wait 2 minutes
 - Register the flow and concentration in this situation.
 - Reopen the slider to nominal (full) suction capacity.



9. Terminate the measurement when over three consecutive readings (1/2 hour) show less than 5% relative decrease in methane suction flow.
10. Fill a sample bag directly after the last reading. Deliver the bag to the lab for analysis by GC.
11. Tidy up the site. Remove all plastic carpets on and around the leak site. .
12. For Kiwa site only: Reopen any closed other leaks (if relevant).
13. Store the measurement data on file/disk (and backup)

Additional notes for field situation³

1. It is assumed that the leak has previously been identified and located during the DSO's leak survey. Therefore typically some drilling holes are already in place for leaks in an urban environment (pavement, street, etc.). Also the DSO is responsible for providing barriers and warning signs to secure the measurement site.
2. At arrival at the site of the leak a quick leak survey is to be performed along the existing holes and in the area specified by the DSO with standard leak survey equipment (bell or carpet probe with semiconductor or FID concentration measurement) to make sure that there is (still) a leak indication on the surface (sometimes leaks cannot be found anymore, as a period of time has elapsed between the leak survey and the date of the measurement).
3. Concentration readings from the drilling holes via FID are then taken and documented. The pipeline documentation is checked for an understanding of the (supposed) location of the pipeline. Drilling holes are added to left and right of the pipeline (existing ones from locating tasks are usually only on top of the pipeline) to generate a symmetric field of probes. For this the holes with most significant concentrations are chosen as central area. It is checked that sufficient area is covered by using further holes in all directions to prove that at some distances no more (relevant) concentration can be found.
4. If the leak is located in the vicinity of a house service connection add probes in that direction, as it is typically unclear if the leak actually stems from the distribution line or service line. Drilling holes are usually in the depth of 30 – 50 cm, depending on the laying depth of the gas pipes and presence other infrastructure such as electricity cables, water pipes and fiber cables.
5. When placing the probes make sure to seal the annular gap between probe and hole as much as possible. According to German experience O-rings are suitable on concrete/pavement. If the leak is located below a grass/soil/field it is sufficient to just compact the excavated material from the drilling around the probe.
6. Document the starting concentrations of all probes before coupling the suction pumps (not the measurement case yet as parts of it are not EX-secure), then start the suction.
7. After a couple of minutes check all probes for underpressure and concentration individually using the "quick-release couplings on the top of the probes. Check for congestions if one or more probes don't show any underpressure. It may happen that the air flow resistance at some location is too high due to soil conditions (especially if very inhomogeneous soil is present, which is typical for old pipes buried after WW2) – then very little or no methane concentration will be observed for long time. In this case these probes can be relocated or removed as no leaking gas will escape via these paths.
8. From time to time the overall concentration in the accumulation hose is measured. When the concentration here is below 2.5 % the measurement logging is started and the measurement software will provide a timeline of methane leak rates to be used to check if the stable state has been reached.
9. Continue with the suction and periodical checking underpressure and concentration from the probes individually and deciding whether to remove

³ Derived from notes from Stefan Gollanek, describing German experience.



probes with none or very low concentrations while underpressure is available. Through this procedure the probing field around the actual centre of the leak can be decreased, as the original centre might well not be where the highest concentration has originally been observed! Also, by removing probes on the outskirts of the measurement field that show no more (or only marginal) concentrations most of our suction power is used for the area of soil that is still (partly) saturated by methane. Using an initially larger area speeds up the time it takes to create an area free of gas that has escaped the leak in the past around the actual leak⁴.

10. When the overall concentration measurement is stable for a longer period of time (this is not exactly defined, but the rate of concentration change should typically be pretty small for at least half an hour to an hour or so), check the surface within the measurement area for any gas concentrations via carpet/bell probe again. This proves that all the gas leaking from the pipe finds its way through the suction device and none escapes to the surface. If this check is ok, the actual measurement taken as the average value of concentration (and suction flow) over a period of roughly five minutes.
11. The typical volume flow during suction is about 20 m³/h and the FID is calibrated for 100 ppm of Methane, as this is the typical measurement range for leaks.

This completes the description of the German procedure. It is also recommended to check other details, depending on the situation (e.g. introduction of water to the air flow, weather conditions etc.). In their experience the reduction of gas concentration (gas suction rate) that is seen in the measurement equipment is very rarely “smooth” in time. Often step like changes are observed over time. It is also quite common, that in the beginning leak rates remain rather stable on a high level and only at some point rates start decreasing. It is speculated that this happens due to (sometimes extensive) “lakes” of natural gas forming right underneath the surface if it is mostly air tight, thus forcing the gas to creep along the sealed barrier. When the suction is started, this “lake” is emptied first and a rather continuous flow of natural gas is delivered to the probes from this reservoir.

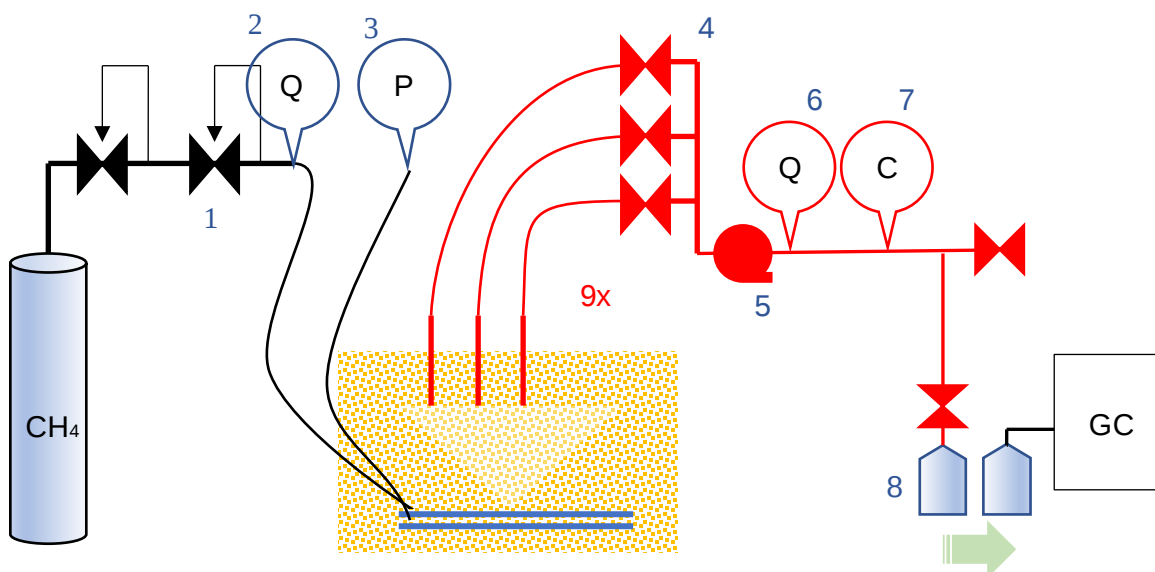
Results and uncertainty

Results should be reported in kg_{CH4}/y (WG_ME, 2019) for each leak measurement separately.

Uncertainty should be explicitly stated and preferable based on 1 s (63% confidence interval).

Set-up

⁴ This is different from the protocol used in the suction experiments in this report.



>

- 1 pressure regulator (ca 100 mbar)
- 2 methane flow measurement
- 3 leak pressure measurement
- 4 manifold with valves
- 5 suction pump (ca 10 m³/h)
- 6 air methane mixture flow measurement
- 7 methane concentration measurement
- 8 sample bag for off line concentration measurement



V. Historic Dutch suction measurements dataset

Nr	Jaar	Materiaal	Drukklasse	Concentratie max. (ppm)	Lekgrootte (l/h)	Id	Comment
1	2005	PVC	100 mbar	150	11.2	2005-1	150 ppm
2	2005	Staal	8 bar	8000	65.7	2005-2	8000 ppm
3	2005	PVC	100 mbar	800	94.6	2005-3	800 ppm
4	2005	Staal	100 mbar	1000	14.9	2005-4	1000 ppm
5	2005	GGY	100 mbar	150	8.5	2005-5	150 ppm
6	2005	GGY	100 mbar	1000	4.6	2005-6	1000 ppm
7	2005	PVC	100 mbar	-	580.2	2005-7	- ppm
8	2005	PVC	100 mbar	-	1.6	2005-8	- ppm
9	2005	Staal	100 mbar	3000	32.1	2005-9	3000 ppm
10	2005	Staal	100 mbar	-	10.9	2005-10	- ppm
11	2005	Staal	8 bar	300000	460.9	2005-11	300000 ppm
12	2005	Staal	8 bar	400000	104.6	2005-12	400000 ppm
13	2005	Staal	4 bar	15000	58.4	2005-13	15000 ppm
14	2005	GGY	30 mbar	800	170	2005-14	800 ppm
15	2005	GGY	30 mbar	3000	15.9	2005-15	3000 ppm
16	2005	GGY	30 mbar	1000	169.3	2005-16	1000 ppm
17	2005	HPE	100 mbar	300	231.4	2005-17	300 ppm
18	2005	PE	4 bar	100	690.1	2005-18	100 ppm
19	2005	PE	4 bar	500	22.1	2005-19	500 ppm
20	2005	PE	4 bar	60	91.4	2005-20	60 ppm
21	2005	GGY	70 mbar	1000	46.1	2005-21	1000 ppm
22	2005	GGY	30 mbar	3000	350.2	2005-22	3000 ppm
23	2005	Nod. GY	30 mbar	800	230.5	2005-23	800 ppm
24	2005	Nod. GY	30 mbar	100	156.7	2005-24	100 ppm
25	2005	Nod. GY	30 mbar	800	96.1	2005-25	800 ppm
26	2006	GGY	30 mbar	1800	167	2006-26	1800 ppm
27	2006	GGY	30 mbar	740	10	2006-27	740 ppm
28	2006	GGY	30 mbar	350	18	2006-28	350 ppm
29	2006	GGY	30 mbar	780	9	2006-29	780 ppm
30	2006	GGY	30 mbar	130	452	2006-30	130 ppm
31	2006	GGY	30 mbar	370	48	2006-31	370 ppm
32	2006	GGY	30 mbar	5600	31	2006-32	5600 ppm
33	2006	GGY	30 mbar	180	15	2006-33	180 ppm
34	2006	GGY	30 mbar	6700	72	2006-34	6700 ppm
35	2006	GGY	30 mbar	240	7	2006-35	240 ppm
36	2006	GGY	100 mbar	2500	24	2006-36	2500 ppm
37	2006	GGY	100 mbar	10000	32	2006-37	10000 ppm
38	2006	GGY	100 mbar	1560	9	2006-38	1560 ppm
39	2006	GGY	100 mbar	1300	15	2006-39	1300 ppm
40	2006	GGY	100 mbar	1300	4.5	2006-40	1300 ppm
41	2006	GGY	100 mbar	1000	12	2006-41	1000 ppm
42	2006	GGY	100 mbar	15000	117	2006-42	15000 ppm
43	2006	GGY	100 mbar	15000	76	2006-43	15000 ppm
44	2006	GGY	100 mbar	460	4	2006-44	460 ppm
45	2006	Slagvast PVC	100 mbar	3400	13	2006-45	3400 ppm
46	2006	Slagvast PVC	100 mbar	150	6	2006-46	150 ppm
47	2006	Slagvast PVC	100 mbar	7700	35	2006-47	7700 ppm
48	2006	Slagvast PVC	100 mbar	9100	20	2006-48	9100 ppm
49	2006	Slagvast PVC	100 mbar	1220	3	2006-49	1220 ppm
50	2006	Slagvast PVC	100 mbar	700	10	2006-50	700 ppm
51	2014	AC	100mbar	114	80.6	2014-51	114 ppm
52	2014	AC	100mbar	170	203.9	2014-52	170 ppm
53	2014	PE	100mbar	50	98.5	2014-53	50 ppm
54	2014	AC	30mbar	150	205.1	2014-54	150 ppm
55	2014	Staal	8 bar	Tussen 600 en 700	2179.5	2014-55	Tussen 600 en 700 ppm
56	2014	PE	100 mbar	300	0.3	2014-56	300 ppm
57	2014	Staal	8 bar	100	0	2014-57	100 ppm
58	2014	Nod GY	8 bar	80	581	2014-58	80 ppm
59	2014	Nod GY (300mm)	1 bar	240000	31.1	2014-59	240000 ppm
60	2014	PE80	3 bar	800	24.9	2014-60	800 ppm
61	2014	PE100	8 bar	50	0	2014-61	50 ppm
62	2014	PE80	3 bar	44	9.4	2014-62	44 ppm
63	2014	Nod GY	1 bar	Tussen 150 en 250	0.2	2014-63	Tussen 150 en 250 ppm
64	2014	PE 63	3 bar	7000	48.8	2014-64	7000 ppm
65	2014	PE 80	4 bar	700	712.6	2014-65	700 ppm
66	2014	Staal	8 bar	1600	215.9	2014-66	1600 ppm
67	2014	Nod GY	4 bar	7000	6.1	2014-67	7000 ppm

2024. évi nyomásszabályozó állomások gáztechnológiai rendszerén lévő szivárgásokból származó metánkibocsátás			
Nyomásfokozat (bar)	Éves várható kibocsátott mennyiség (m³/év)	Nyomásszabályozó állomásokon lévő szivárgások száma (db)	Nyomásszabályozó állomáson kibocsátott metán mennyiség (m³)
1	34,8785214	1	34,8785214
3	69,2204501	3	207,6613503
4	86,3914145	0	0
6	121,269936	16	1940,318976
8	155,611865	6	933,67119
12	224,832315	1	224,832315
16	294,052765	4	1176,21106
25	468,445372	0	0
Metánkibocsátás nyomásszabályozó állomás belső szivárgásaiból:			4517,57 (m³/év)
Metánkibocsátás nyomásszabályozó állomás belső szivárgásaiból - átváltás:			3,24 (tonna/év)
CH ₄ emissions in CO ₂ e (AR5-100)			90,67 (tonna/év)

2024. évi nyomásszabályozó állomások gáztechnológiai rendszerén lévő szivárgások száma		
Dátum	Cím	Üzem nyomás (bar)
2024.01.13	Homokterenye	8
2024.01.13	ROMHÁNY, Romhány fogadó 8/6	8
2024.02.18	VALKÓ, Dányi u - külterület	6
2024.02.18	Pilisszentiván, Szabadság-Akácfa u. sarok	6
2024.03.08	BORSODNÁDASD, Csurgós utca	6
2024.03.24	Göd, Ady E. u.- Kinizsi u.sarok	6
2024.03.26	Debrecen, E.on Mikepércsi u.1.	6
2024.03.30	ROMHÁNY, Romhány fogadó 8/6	8
2024.03.30	EGYEK, Tisza út	10
2024.04.05	HAJDÚSZOBOSZLÓ, Tessedik u. 12	6
2024.04.24	EGERBOCS	6
2024.05.15	GYÖNGYÖS, Gyöngyös,Kócsag u.	3
2024.05.21	GYÖNGYÖS, Gyöngyös, Dél-Kálvária	3
2024.06.06	KARCAG, Kisújszállási utca	3
2024.06.12	Tahitótfalu, Külterület	16
2024.06.12	Kisoroszi, Külterület	16
2024.06.14	JÁSZBERÉNY, Sportpálya utca	6
2024.06.15	Tahitótfalu, Külterület	16
2024.06.26	Algyő, Ipartelep	16
2024.07.15	Boldog, Mező Imre u	6
2024.08.03	Tatabánya, Búzavirág utca	8
2024.08.12	HAJDÚSZOBOSZLÓ, Kölcsey u. 26 I.	3
2024.08.31	MISKOLC, Park utca	1
2024.09.06	MIKÓFALVA	6
2024.09.06	BÜKKSZÉK	6
2024.09.06	PÉTERVÁSÁRA	6
2024.09.10	Vecsés, Kellner Dr. utca	8

2024.09.11	ÉRD, Emília utca	6
2024.11.25	DEBRECEN, Híd u.1.	6
2024.12.06	MISKOLC, Bertalan utca	8
2024.12.18	Rétközberencs, Fő út eleje	6
2024.12.28	MISKOLC, Szervezet utca	6

KIBOCSÁTÁS MÉRETEZÉS

Hálózat primer oldali változó nyomásételek mellett szerelvények kibocsátás méretezése

ROBBANÁSVÉDELEM:



**Hexagon
Safety
Services**

HEXAGON SAFETY SERVICES KFT.

2100 Gödöllő, Damjanich J. 109.
hexagonsafety.hu

Dokumentum azonosító:

Verzió:

Dátum:

HEX-25-TIGAZ-02

1.0

2025. 07. 24.

1 Tervezési határok pontosítása

Az elmúlt időszakban megjelent metánrendelettel összefüggésben készül, és ennek keretében hatósági jelentéstételi kötelezettségünknek kell eleget tenni.

E jelentés megalapozásához elengedhetetlen, hogy a karimás csőkötésekre vonatkozóan szabvány szerinti metánkibocsátási értékek álljanak rendelkezésünkre.

A robbanás elleni védelem gyakorlatában alkalmazott kibocsátás méretezési számítások alkalmasnak ítéltető, az összeállítandó jelentés értelmezési környezetében, különös tekintettel arra, hogy a kibocsátási értékeket a nyomásszabályozó állomások belső tereiben is figyelembe kell vennünk.

Feladat a karimás kötésekre vonatkozó, az alábbi abszolút nyomásértékekhez tartozó méretezés végrehajtása.

- **1 bar,**
- **3 bar,**
- **4 bar,**
- **6 bar,**
- **8 bar,**
- **12 bar,**
- **16 bar,**
- **25 bar.**

A szekunder oldalra vonatkozó számítások jelen esetben nem tárgya koncepciónak.

A meghatározott kibocsátási adatok dimenziója: **m³/h**

A nyomásszabályozó állomásokon a korrózió megjelenése általában nem jellemző, ezért a karimás kötések esetében tartós, tiszta fémes csőkötéssel lehet számolni. A karimák között alkalmazott tömítőanyag jellemzően poliuretán (PU) vagy szilikon alapú tömítés.

1.1 Környezeti feltételek

A technológiai és üzemi körülmények minden esetben az MSZ EN IEC 60079-0:2018 szabványban meghatározott normál légköri feltételekre és a jelenlévő közeg robbanási jellemzőire vonatkoznak, melyek:

- Hőmérséklet: -20°C-tól 60°C-ig;
- Nyomás: 80 kPa (0,8 bar)-tól 110 kPa (1,1 bar)-ig; és
- Normál oxigéntartalmú levegő, jellemzően 21 % v/v

2 Alkalmazott műszaki környezet

2.1 A robbanás veszélyes zónák meghatározásakor figyelembe vett jogszabályok, szabványok

- **Robbanás elleni védelem – Tűzvédelmi Műszaki Irányelv** 13.5:2025.02.01.
- **MSZ EN IEC 60079-10-1:2021 szabvány** Robbanóképes közegek. 10-1
- **Gáz csatlakozóvezetékek, felhasználói berendezések és telephelyi vezetékek Szakági műszaki előírások** Azonosító: SZME-G 2025.05.27.
- **Recommended Practice for Classification of Locations for Electrical Installations at Petroleum Facilities Classified as Zone 0, Zone 1, and Zone 2** API RECOMMENDED PRACTICE 505 THIRD EDITION, JANUARY 2025

3 A méretezés szempontból releváns anyagjellemzők ismertetése

- <http://gestis.itrust.de/> - IFA GESTIS (Institute for Occupational Safety and Health of the German Social Accident Insurance) Substance Database

	Földgáz*	Metán**
CAS:	8006-14-2	74-82-8
Összegképlet:		CH ₄
Móltömeg [g/mol]:		16,04
Sűrűség		0,6709 kg/m ³
Felső Robbanási határérték:	10,8 %(V)	17 vol.%
Alsó Robbanási határérték:	1,7 %(V)	4,4 vol.%
Relatív gőzsűrűség (levegő=1):	0,55 ... 0,75	0,56
Öngyulladás hőmérséklet:	575 ... 640 °C	595
Gázcsoport:	IIA	IIA
Hőmérsékleti osztály:	T1	T1

*<https://gestis-database.dguv.de/data?name=090290>

** <https://gestis-database.dguv.de/data?name=010000>

4 A technológia azonosítása

4.1 Kibocsátó források azonosítása

Primer oldali elosztó vezetékek

Kibocsátó forrás:

- Karimás és peremes kötések tömítései

Másodrendű

Környezet:

- **Külsőtér, beépítettlen - Szellőzés**

⇒ Fokozata:

Közepes

⇒ Üzembiztonsága:

Megfelelő

4.2 Méretezési eljárás kiinduló adatai

A robbanásveszélyes övezet méreteinek számolásához szükséges bemeneti adatokat az MSZ EN IEC 60079-10-1:2021 szabvány A.1. számú táblázata tartalmazza.

A kibocsátás becslése numerikus eljárással az MSZ EN IEC 60079-10-1:2021 szerint.

Rendszer mértékadó belső nyomása:

• 1 bar, • 3 bar,	• 4 bar, • 6 bar,	• 8 bar, • 12 bar,	• 16 bar, • 25 bar
----------------------	----------------------	-----------------------	-----------------------

Karimás és menetes kötések tömítései – MSZ EN IEC 60079-10-1:2021 szerint

Kiindulási adatok:

Közeg	Metán	
CAS	74-82-8	
Moláris tömege	16,04	kg/kmol
Gáz/levegő relatív sűrűsége	0,56	
Adiabatikus expanzió politrop indexe (γ)*	1,31	
Kibocsátó forrás megnevezése	Csőkötés	
Kibocsátó forrás elhelyezkedése	szabadtér	
Rendszer belső hőmérséklet	20	°C
Gáz sűrűsége atmoszférikus nyomáson	0,6709	kg m ⁻³
Móltömeg	16,04	kg/kmol
* MSZ EN ISO 24664:2025 Table A.1		

A Szabvány 3.4.4-es pontja értelmében a vizsgált karimásestén a kritikus nyomásérték meghatározása a Szabvány B.2 egyenlete szerint:

$$p_c = p_a \left(\frac{\gamma + 1}{2} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}} \text{ (Pa)}$$

Ennek megfelelően:

P_c	Kritikus nyomás	186 284,176	Pa
----------------------	-----------------	-------------	----

A számítások alapján a vizsgált csőkarima belső nyomás értéke minden esetben nagyobb, mint a kritikus nyomás. Ezért a kibocsátási mértéket a Szabvány B.3. egyenlete szerint:

$$Wg = Cd \times S \times p \times \sqrt{\gamma \times \frac{M}{Z \times R \times T} \times \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{(\gamma + 1)/(\gamma - 1)}} \text{ (kg/s)}$$

Ahol:

Nyomás érték	W_g [kg/s]
1 bar	0,00065
3 bar	0,00129
4 bar,	0,00161
6 bar,	0,00226
8 bar,	0,0029
12 bar,	0,00419
16 bar,	0,00548
25 bar.	0,00873

A kibocsátás térfogatárama (B.4. összefüggés):

$$Q_g = \frac{W_g}{\rho_g} (\text{m}^3/\text{s})$$

Ahol:

Nyomás érték	Q_g [m ³ /s]	Q_g [m ³ /h]
1 bar	0,00065	3,487852139
3 bar	0,00129	6,922045014
4 bar,	0,00161	8,639141452
6 bar,	0,00226	12,12699359
8 bar,	0,0029	15,56118647
12 bar,	0,00419	22,48323148
16 bar,	0,00548	29,40527649
25 bar.	0,00873	46,84453719

A szerelvény robbanás védelemmel kapcsolatos megítélése az MSZ EN IEC 60079-10-1:2021 szabvány szerint, másod rendű kibocsátó forrás.

3.4.4 secondary grade of release (def.): release which is not expected to occur in normal operation and, if it does occur, is likely to do so only infrequently and for short periods

A nemzetközileg elismert Recommended Practice for Classification of Locations for Electrical Installations at Petroleum Facilities Classified as Zone 0, Zone 1, and Zone 2 API RECOMMENDED PRACTICE 505 THIRD EDITION, JANUARY 2025 műszaki dipokumentum 6.5.8.2 fejezetében a zónájába sorolás és a kibocsátás időtartama a következő összefüggésekkel jellemezhető:

Table 2—Showing the Relationship Between Grade of Release and the Presence of Flammable Mixtures

Grade of Release	Flammable Mixture Present
Continuous	1000 or more hours/year
Primary	10 hours/year to 1000 hours/year
Secondary	less than 10 hours/year

Mind a MSZ EN IEC 60079-10-1:2021 szabvány mind a **Gáz csatlakozóvezetékek, felhasználói berendezések és telephelyi vezetékek Szakági műszaki előírások** Azonosító: SZME-G 2025.05.27. dokumentum alapján a csőkötés másodlagos kibocsátó forrásként azonosítandó.

Az műszaki normák szerint meghatározott tömegáram alapján és a kibocsátás idő faktor szerint, egy évre vetítve, az adott nyomású, peremes csőkötés esetén, kijuttatott gázmennyisége a következők szerint várható, becsülhető:

Rendszer belső nyomás érték	Kibocsátás tömeg áram	Kibocsátás térfogat áram	Kibocsátás térfogat áram	Éves várható kibocsátott mennyiség
<i>bar</i>	<i>kg/s</i>	<i>m³/s</i>	<i>m³/h</i>	<i>m³ (1 év)</i>
1	0,00065	0,000968848	3,487852139	34,8785214
3	0,00129	0,00192279	6,922045014	69,2204501
4	0,00161	0,002399762	8,639141452	86,3914145
6	0,00226	0,003368609	12,12699359	121,269936
8	0,0029	0,004322552	15,56118647	155,611865
12	0,00419	0,006245342	22,48323148	224,832315
16	0,00548	0,008168132	29,40527649	294,052765
25	0,00873	0,013012371	46,84453719	468,445372

Az ATEX szabványossági környezetben a másodlagos kibocsátó források egyidejűségének megítélésé az az MSZ EN IEC 60079-10-1:2021 szabvány szerint 10^{-7} kg/s nagyságrend esetén egyiket sem veszi figyelembe.

Az MSZ EN 60079-10-1:2009 A $(dV/dt)_{\min}$ -nek csak a legnagyobb értékét kell figyelembe venni.¹

Ennek értelmében, minden egyes helyszín esetében, a kibocsátó források számosságát figyelembe véve, a kibocsátás össz mennyisége, jellemezhető egy kibocsátó forráson méretezett mennyiség figyelembevételével.

5 Kompetencia követelmények

Figyelembe véve **3/2003. (III. 11.) FMM-ESzCsM együttes rendelet**, az **MSZ EN IEC 60079-10-1** szabvány **4.4 Competence of Personnel**, az **MSZ EN 60079-10-14 Annex A Knowledge, skills and competencies of responsible persons, operatives/technicians and designers, A.2** szerint, és a **MSZ IEC/TS 60079-44** szabvány **8.2 Area classification** fejezetét.

¹ Az MSZ EN 60079-10-1:2009 szerint jelölt (dV/dt) paraméter, az MSZ EN IEC 60079-10-1:2021 szerint Q_g jelölésével egyezik meg.

6 Nyilatkozat

Az adatszolgáltatás rendelkezésre bocsátása, továbbá az egyes szakági tervek hozzáférhetőségének biztosítása a megrendelő feladata.

A méretezési dokumentáció a robbanás elleni védelemmel kapcsolatos adatszolgáltatás során átadott és az abban szereplő műszaki megoldások alapján készült.

Az adatok átadását, illetve a műszaki leírás elkészítését követően bekövetkező bárminemű változás esetén a méretezési dokumentációt felül kell vizsgálni.

Az esetleges munkaközi módosítások közlése a Megrendelő feladata.

A téves vagy hiányos adatszolgáltatásból fakadó hibákért felelősséget nem vállalok.

Nyilatkozom továbbá, hogy a tervezett műszaki megoldás megfelel a vonatkozó jogszabályoknak és hatósági elvárásoknak, beleértve az országos településrendezési és építési követelményekről szóló jogszabályban, a helyi önkormányzati rendeletekben, helyi építési szabályzatban, szabályozási tervben foglaltaknak, továbbá a Műszaki Biztonsági Szabályzatban foglalt műszaki előírásoknak. A tervezett műszaki megoldás biztosítja az élet, az egészség és a környezet védelmét.

☒ A Tűzvédelmi Műszaki Irányelvekben foglaltaktól való eltérés nem vált szükségessé.

☐ A Tűzvédelmi Műszaki Irányelvekben foglaltaktól való eltérés esetén: Az alkalmazott megoldás biztonsági szintje eléri a Műszaki Biztonsági Szabályzatban meghatározott biztonsági szintet.

☒ Szabványtól való eltérés nem vált szükségessé.

☐ Szabványtól való eltérés esetén: Az alkalmazott megoldás eléri a honosított, harmonizált szabvány szerinti, vagy azzal egyenértékű biztonsági szintet. Az alkalmazott szabványok felsorolása:

Dátum: 2025. 07. 24.

A dokumentációt összeállította:



eSign


Leitner Miklós

Okleveles Biztonságtechnikai mérnök	BGK-M-070/2024
Tűzvédelmi mérnök	PT B 025715
Robbanásvédelmi szakmérnök	424-G/2022
A robbanásbiztos gyártmányok tervezésével, kiválasztásával és szerelésével kapcsolatos eljárások műszaki vezetője:	11-001-119/2015
Robbanásbiztos berendezés kezelője	T/2024/078688-1
Munkavédelmi technikus	CXB B 018217
Mérnökkamarai tagszám	CXB C 840302
	13-16112

2024. évi elosztóhálózati technológiai célú felhasználásból származó metánkibocsátás		
Hónap	Elosztóvezeték térfogat (Nm ³)	
január	110,9	
február	41,1	
március	39,2	
április	31,2	
május	93,4	
június	40,5	
július	54,0	
augusztus	52,2	
szeptember	82,4	
október	3249,4	
november	94,2	
december	78,4	
Kibocsátott metánmennyiség:	11901,05	(Nm ³ /év)
Kibocsátott metánmennyiség - átváltás:	8,53	(tonna/év)
CH ₄ emissions in CO ₂ e (AR5-100):	238,86	(tonna/év)

2024. évi nyomásszabályozó állomáson végzett tevékenységekből származó metánkibocsátás		
OPUS TIGÁZ Zrt. területén üzemelő nyomásszabályozó állomások száma (db):	1338	
Nyomásszabályozó állomásokon végzett tevékenységekből (karbantartás, diagnosztika, eseti jellegű hibajavítás) származó fajlagos kibocsátási tényező (Nm ³ /év):	10	
Nyomásszabályozó állomásokon végzett tevékenységekből származó kibocsátás:	13 380	(Nm ³ /év)
Nyomásszabályozó állomásokon végzett tevékenységekből származó kibocsátás - átváltás:	9,89	(tonna/év)
CH ₄ emissions in CO ₂ e (AR5-100):	268,54	(tonna/év)