

# LEFÚVATOTT ROBBANÁSOK MAXIMÁLIS REDUKÁLT NYOMÁSÁNAK VIZSGÁLATA AZ EN 14994 ÉS NFPA 68 SZABVÁNYOK TÜKRÉBEN

## INVESTIGATION OF THE MAXIMUM REDUCED PRESSURE OF VENTED EXPLOSIONS IN THE SCOPE OF EN 14994 AND NFPA 68 STANDARDS

Mikáczó Viktória\*, Siménfalvi Zoltán\*\*

### ABSTRACT

*When an explosion occurs in a closed vessel, its effect can be minimized with venting protection. To direct the released components, vent ducts can be used. However, this solution presents a backpressure to the flow, and has negative influence on the reduced pressure in the vessel. Based on the relevant standard relations, the authors performed a new relationship to calculate the increased reduced explosion overpressure that occurs when using a vent duct. The relation is applicable to the venting of propane-air mixtures between 2.8-6.3 vol.% from a 20 liter spherical vessel, besides using a straight vent duct of 30 mm diameter and  $l/d = 33,3$  or shorter lengths, and a rupture disk with 0.49 bar<sub>g</sub> activation pressure or less.*

### 1. BEVEZETÉS

A por- és gázrobbanásveszély kielégítő kezelésének két alappillére a megelőzés és a védelem. Mivel a veszélyes állapot a bekövetkezési valószínűségének zérusra csökkentése lehetetlen, ezért egy esetleges robbanás során keletkező nyomáshullámokat és a lángot biztonságos határok közt kell tartani vagy elfojtani. Ez megoldható pl. robbanási nyomásálló építési móddal, lefúvásos védelem vagy elfojtás alkalmazásával [1].

Amennyiben a zárt térben bekövetkező robbanás lefúvatásra kerül, annak kedvezőtlen hatása minimalizálható. A hasadóelemek megfelelő méretezés esetén a robbanás korai szakaszában (névlegesen a  $P_{stat}$  statikus aktivációs nyomás elérésekor) kinyílnak, és elvezetik a lángokat, égéstermékeket, így mérsékelve biztonságos értékig a nyomást a készülék, berendezés vagy épület belsejében, a maximális redukált nyomás a készülék különböző pozícióiban mérve is azonos értéken tartható [2][3].

Ahhoz, hogy a lefúváskor távozó anyagok elkerüljék a munkaterületet vagy a szomszédos készülékeket, például lefúvató csatornák alkalmazása ajánlott. Ez a

megoldás azonban jelentős ellenállást jelent a lefúvatott közeg áramlásával szemben, amely kedvezőtlen befolyással van a védendő szerkezetben mérhető redukált nyomásra is [4][5][6].

A lefúvató csatornában lejátszódó folyamatok igen összetettek, amelyek befolyásolják a lefúvatást és a készülékben mérhető robbanási jelzőszámokat [7]. A közeg lefúvóvezetékben történő áramlása közben fellépő ellenállások a következők lehetnek (Russo [8] nyomán, kiegészítve):

- súrlódási veszteségek,
- szűkülő keresztmetszeten történő kiáramlás a készülékből a csatornába,
- a csatornában lévő légtömeg tehetetlensége,
- másodlagos robbanás a csatornában,
- akusztikus oszcillációk.

A lefúvató csatornákra vonatkozó vizsgálatok kevés kivételtől eltekintve kétféle irányba haladnak. A lefúvatásra érvényes számítási összefüggések többsége – így a szabványokban megtalálható számítási módszerek nagy része is – kiterjedt mérésorozatok eredménye, amelyekből a megfelelő következtetéseket levonva empirikus vagy félempirikus egyenletek származnak. A másik kutatási irány a szimulációk segítségével végrehajtott vizsgálatokat takarja.

### 2. MÉRÉSEK

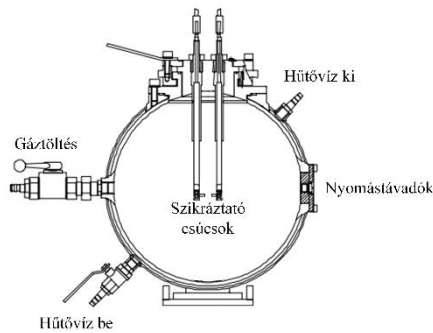
#### 2.1. A mérőeszközök bemutatása

A szerzők a vizsgálataikhoz kapcsolódó méréseket a Miskolci Egyetem Vegyipari Gépészeti Intézeti Tanszékének DustLab laboratóriumában végezték.

A vizsgálatok központi berendezése egy, az EN 14034-1:2004+A1 szabvány [9] előírásainak megfelelő 20 liter űrtartalmú, Kühner gyártmányú robbantókamra volt, amelyet az 1. ábra szemléltet.

\* tanársegéd, Miskolci Egyetem Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet

\*\* habilitált egyetemi docens, Miskolci Egyetem Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet



1. ábra Gázmérésre szerelt 20 liter űrtartalmú Kühner robbantókamra vázlatja Cesana [10] nyomán

Fő egysége a gömb alakú, dupla korrózióálló acél fallal ellátott kamratest. Ennek két falrétege között víz áramoltatható a kontrollált teszthőmérsékletek biztosítása, a robbanás közben keletkező hő elvezetése és a kamra állandó hőmérsékleten tartása érdekében.

A gyújtóforrás a kamra középpontjában helyezkedik el. A vizsgálandó gázelegy gyújtását szikráztató csúcsok végzik, melyek távolsága 5 mm volt. Gázok gyújtóforrása 10 J energiájú folyamatos villamos ív.

A felépülő nyomásprofil rögzítését két darab Kistler gyártmányú piezoelektromos szenzor végzi, továbbá lehetőség van egy harmadik távadó felszerelésére is. A kamra középső övén kialakított karimára további mérőegységek rögzíthetők. Az egység mérés utáni tisztítása a felső csonkon át, gázzal (többnyire környezeti levegővel) történő átöblítése pedig az oldalsó gömbcsapon keresztül történik.

A mérési program vezérlését, valamint a Kistler távadók által továbbított jel feldolgozását a KSEP számítógépes szoftver végzi.

A mérés kezdetén, annak érdekében, hogy a kamra belsejében a robbanóképes elegy betöltése után légköri nyomás alakuljon ki, a kamra előzetes vákuumozása szükséges  $-0,6 \text{ bar}_g$  értékre. Gázelegyek mérése esetén az adagolásért és a vákuumozásért felelős szerelvények kézi vezérlésűek. A betöltés után 60 ms időtartamú, szoftveresen vezérelt késleltetés után megtörténik a gyújtás. Az adott anyagpárra jellemző robbanási karakterisztika felvételéhez több méréssorozatot is el kell végezni, előre meghatározott koncentrációk sorozata szerint.

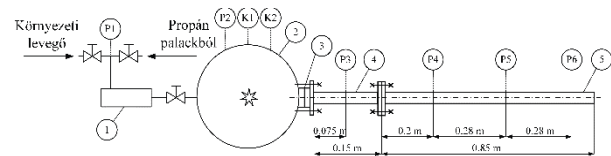
## 2.2. Lefúvatott robbanásokkal kapcsolatos mérések

A lefúvatott robbanások vizsgálata a már bemutatott Kühner robbantókamrával és annak a szerzők által kidolgozott [11] töltési módjával történt. A Kistler távadókon kívül a nyomásértékek rögzítése külső távadókkal és HBM típusú mérő-adatgyűjtő egységgel valósult meg.

A vizsgált propán-levegő elegyek 2,8, 3,8, 4,8, 4,8, 6,3 V/V\% propánt tartalmaztak. Minden egyes feltüntetett koncentrációhoz legalább három különböző mérés tartozik.

Hasadóelemként a szerzők kereskedelmi forgalomban is elérhető alumínium fóliákat alkalmaztak, amelyeket  $300^\circ\text{C}$ -on 30 percig való hűn tartással, majd levegőn való hűtéssel készítették elő. Az alkalmazott alumínium fólia működése során síktárcsaként viselkedik, amelynek az EN ISO 4126-6 jelű szabvány [12] által ajánlott maximális nyitási türése  $\pm 50\%$ .

A hasadóelemeket az ipari gyakorlatban alkalmazott hasadótárcsa-befogók mintájára tervezett befogókkal a kamrán kialakított kémlelőnyílás helyére illesztették. A lefúvatásért felelős elemek mérési elrendezésének sémáját a 2. ábra szemlélteti.



2. ábra A lefúvatott robbanások mérési elrendezésének vázlatja

Az ábra jelölései a következők: 1: gáztöltő kamra, 2: 20 liter űrtartalmú robbantókamra, 3: hasadóelem a befogókkal, 4: 0,15 m hosszúságú lefúvató csatorna elem, 5: 0,85 m hosszúságú lefúvató csatorna elem, KI, K2: Kistler gyártmányú piezoelektromos távadó vezérlésre, maximumértékek rögzítésére, P1 – P6 Hottinger gyártmányú nyomástávadó a teljes nyomásgörbék rögzítésére.

Mind a hasadóelem nyílófelülete, mind a csatornák belső átmérője 30 mm volt. A szerzők lefúvató csatorna nélkül (0 m hosszúságú csatorna), valamint 0,15 m és 1 m hosszú csatornával végeztek méréseket, tehát a vizsgált csatornák  $l/d$  viszonya rendre 0, 5 és 33,3 értékre adódott.

A szerzők minden mérési adatsorból jelen vizsgálatok elvégzéséhez két fő paramétert határoztak meg:

- a fólia nyitónyomását ( $P_{set}$ ),
- a propán-levegő keverék maximális redukált nyomását ( $P_{red,max}$ ).

## 2.3. Mérési eredmények

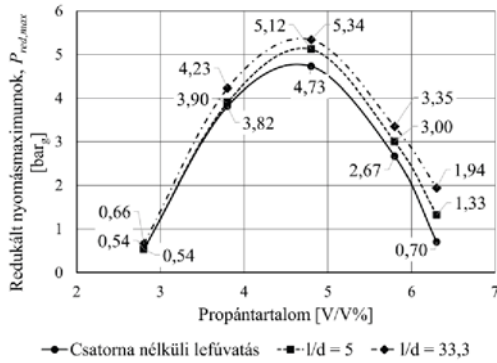
### 2.3.1 A hasadóelemek nyitónyomása

A hasadóelemként használt fóliák nyitónyomása a robbanás során felvett nyomásgörbékből állapítható meg, mind lefúvóvezeték nélküli, mind a lefúvóvezetékkel végzett esetben. A szerzők a nyitónyomást a készüléken elhelyezett P2 jelű nyomástávadó jelében a robbanás kezdeti szakaszán bekövetkezett változásból határozták meg. Így a fóliák átlagos nyitónyomására  $P_{set} = 0,49 \text{ bar}_g$  adódott,  $+8,81\%$

és -8,25% túréson belül, amely jóval az EN ISO 4126-6 szabvány által megfogalmazott  $\pm 50\%$ -os határ alá esik.

### 2.3.2 Mért karakterisztikus jellemzők

Az 3. ábra grafikusan szemlélteti a redukált nyomások átlagértékeit a kezdeti propántartalom függvényében.



3. ábra A robbantókamrában mért redukált nyomások átlagos maximumértékei

Megfigyelhető, hogy a csatorna alkalmazása és annak hossza jelentős hatással van a kamrában mérhető nyomásértékekre. Továbbá az is látható, hogy a tüzelőanyagban szegényebb keverék kisebb hatást gyakorolt a kamrában mérhető maximumokra. A 2,8 V/V% propántartalom esetén a maximális redukált nyomások átlagértékei megegyeznek a csatorna nélküli és az  $l/d=5$  hosszúságú csatorna esetén. Emelkedő propánmennyiségeknél a nyomások közötti különbségek is egyre jelentősebbé válnak.

### 3. A SZABVÁNYI AJÁNLÁSOK ALKALMAZHATÓSÁGA

A kamrában mérhető redukált robbanási nyomás maximumértékének becslésére mind az EN 14994 [13], mind az NFPA 68 [14] szabvány közöl számítási módokat. A továbbiakban a szerzők azt vizsgálták, hogy az elvégzett mérések során ezek az ajánlások mennyiben feleltek meg a redukált nyomás értékének becslésére.

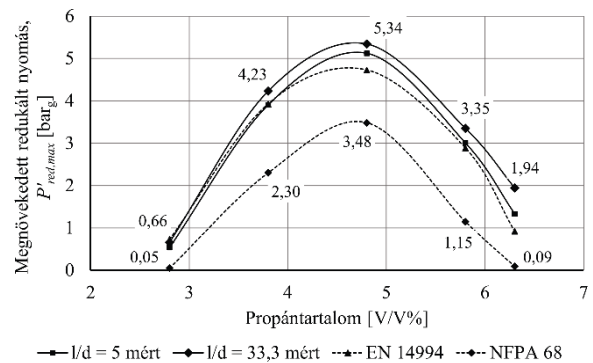
Az EN 14994 szabványban szereplő összefüggés szerint a csatorna redukált nyomást növelő hatása, amennyiben a lefűvővezeték hossza 3 méternél rövidebb:

$$P'_{red,max} = 1,24 \cdot P_{red,max}^{0,8614} \quad (1)$$

Az NFPA 68 szabvány szerint, ha a lefűvővezeték hossza 3 és 6 méter közé esik, vagy annál rövidebb, de a hossza a hidraulikai átmérő négyszeresénél nagyobb, a csatorna hatására megnövekedett redukált nyomás a (2) összefüggés segítségével számítható.

$$P'_{red,max} = 0,172 \cdot P_{red,max}^{1,936} \quad (2)$$

A szerzők az (1) és (2) összefüggéseket alkalmazták az általuk vizsgált esetekre. A szabványok részletesen taglalják az összefüggések alkalmazhatósági feltételeit, amelyeknek a vizsgált mérési geometriák megfelelnek. Mivel az összefüggések nem tartalmazzák a csatornahossz hatását, ezért célszerű volt a nyomásemelkedés szempontjából kedvezőtlenebb,  $l/d=33,3$  hosszúságú lefűvató csatorna mérési eredményeivel összevetni őket. A számítási eredmények és a kamrában mért átlagos nyomásmaximumok összehasonlítását a 4. ábra, az eredményeket tételesen pedig az 1. táblázat tartalmazza.



4. ábra A mért, valamint az EN 14994 és NFPA 68 szabványok szerint meghatározott redukált nyomásmaximumok

1. táblázat A megnövekedett redukált nyomás maximumértékei

| Propánt.<br>[V/V%] | Mért maximumok |              | Szabványi számítások |         |
|--------------------|----------------|--------------|----------------------|---------|
|                    | $l/d = 5$      | $l/d = 33,3$ | EN 14994             | NFPA 68 |
| 2,8                | 0,54           | 0,66         | 0,73                 | 0,05    |
| 3,8                | 3,9            | 4,23         | 3,93                 | 2,3     |
| 4,8                | 5,12           | 5,34         | 4,73                 | 3,48    |
| 5,8                | 3              | 3,35         | 2,89                 | 1,18    |
| 6,3                | 1,33           | 1,94         | 0,92                 | 0,09    |

Ahogy a táblázatban szereplő adatokból is látható, a legnagyobb különbségek a mért és a számított értékek között a 4,8 V/V% kezdeti összetételű keverék esetén adódtak. Ekkor az EN 14994 szabvány 11,46%-kal, míg az NFPA 68 szabvány 34,8%-kal becsülte alá az  $l/d=33,3$  hosszúságú csatornához tartozó eredményt. A nagymértékű pontatlanságok a lezajló részfolyamatok összetettsége okán szokványosak a robbanásbiztonságtan területén, ám a szabványi számítások a legkritikusabb koncentráció esetén alulról közelítik a mérési eredményeket, amelyek önmagukban is kockázatot jelentenek a lefűvő védelem tervezése során.

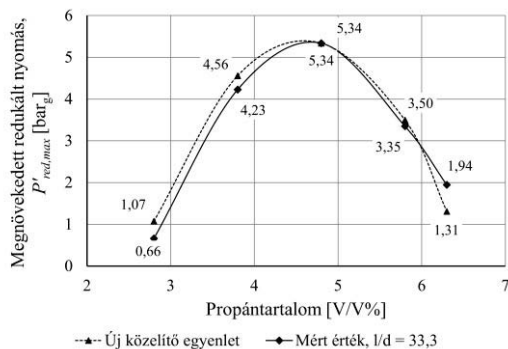
Az eltérések csökkentésének és a redukált nyomásmaximum megfelelő közelítésének érdekében szükségessé vált egy, az (1) és a (2) összefüggésekhez hasonló alakú egyenlet megalkotása. Az egyenlet az alábbi formában áll elő:

$$P'_{red,max} = a \cdot P_{red,max}^b \quad (3)$$

ahol  $a$  és  $b$  a keresett konstansok. Ezek értékét a szerzők az  $l/d=33,3$  hosszúságú lefúvató csatorna esetén kapott redukált nyomásértékekhez igazították a legkisebb négyzetek módszerével úgy, hogy eközben az egyenlet a maximális nyomást eredményező koncentrációnál is felülről közelítse a mérési eredményeket. Így a következő konstansok adódtak:  $a = 1,6953$  és  $b = 0,7384$ , amellyekkel az új közelítő egyenlet:

$$P'_{red,max} = 1,6953 \cdot P_{red,max}^{0,7384} \quad (4)$$

A (4) összefüggés segítségével kapott redukált robbanási nyomások a 5. ábrán láthatók. Az új összefüggés az elvárásoknak megfelelően a maximumértéknél 0%-os hibával közelíti a mérési eredményeket, valamint annak szomszédos értékeinél is felülről burkolják a mérési eredmények görbéjét.



5. ábra A mért redukált nyomásmaximumok összevetése a (4) egyenlet szerinti eredményekkel

#### 4. ÖSSZEFOGLALÁS

A használatban lévő, vonatkozó szabványos összefüggések mintájára a szerzők megalkottak egy új összefüggést a lefúvató csatorna használata mellett fellépő, megnövekedett redukált nyomásmaximum számítására.

Az összefüggés 2,8–6,3 V/V% kiindulási összetételű propán-levegő keverékek lefúvatása esetén alkalmazható, 20 literes űrtartalmú készülékből, 30 mm vagy annál nagyobb átmérőjű és  $l/d=33,3$  hosszúságú vagy annál rövidebb egyenes lefúvató csatorna használatával, 0,49 bar<sub>g</sub> vagy annál kisebb nyitónyomású hasadóelem alkalmazása mellett.

#### 5. IRODALOM

- [1] BARTON J.: *Dust explosion prevention and protection – A practical guide*, Gulf Professional Publishing, 2002.
- [2] SUN S., WANG M., GAO K., ZHAO T., GUO Q.: Effect of vent conditions on internal overpressure time-history during a vented explosion, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, Vol. 54, No. 1, (2018), pp. 85-92.
- [3] SUN S., QIU Y., XING H., WANG M.: Effects of concentration and initial turbulence on the vented explosion characteristics of methane-air mixtures, *Fuel*, Vol. 267., No. 1, (2020), pp. 1-9.
- [4] ECKHOFF R.K.: Current status and expected future trends in dust explosion research, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, Vol. 18, No. 4-6, (2005), pp. 225-237.
- [5] TAMANINI F., VALIULIS J. V.: A correlatopn for the impulse produced by vented explosions, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, Vol. 13, No. 3-5, (2018), pp. 227-289.
- [6] LUNN G. A., NICOL, A. M., COLLINS P. D., HUBBARD N. R.: Effects of vent ducts on the reduced pressures from explosions in dust collectors, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, Vol. 11, (1998), pp. 109-121.
- [7] PANG L., ZHANG Z., CUI S., SUN S.: Experimental study of the venting characteristics of dust explosion through a vent duct, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, Vol. 65, (2020), pp. 104144, doi:10.1016/j.jlp.2020.104144
- [8] RUSSO P., DI BENEDETTO P.: Effects of a duct on the venting of explosion – Critical review, *Process Safety and Environmental Protection*, Vol. 85, No. 1B, (2007), pp. 9-22.
- [9] EN 14034-1:2004+A1 standard: Determination of explosion characteristics of dust clouds – Part 1: Determination of the maximum explosion pressure P<sub>max</sub> of dust clouds, 2004
- [10] CESANA C., SIWEK R.: *Manual for 20-l Apparatus 7.1*, Cesana AG, Switzerland, 2020
- [11] MIKACZO V., SIMENFALVI Z., SZEPESI L.: G.: Practical extension of ideal gas model for propane explosion simulation, *Pollack Periodica*, (2022), doi:10.1556/606.2022.00603
- [12] EN ISO 4126-6 standard: Safety devices for protection against excessive pressure – Part 6: Application, selection and installation of bursting disc safety devices, 2003
- [13] EN 14994 standard: Gas explosion venting protective systems, 2007
- [14] NFPA 68 standard: Standard on explosion protection by deflagration venting, 2018