

SZÉN-MONOXID MÉRGEZÉS VESZÉLYE A ROBBANTÁSTECHNIKÁBAN

*Dr. Hernád Mária orvos százados¹
Kugyela Lóránd robbantásvezető*

Rezümé: A foglalkozási mérgezések között az egyik leggyakoribb a szén-monoxid mérgezés, ennek egyik oka a robbantási munkafolyamatok során keletkező mérges gázok belélegzése is lehet. Ez a veszély főleg zárt terekben, barlangokban, bányákban, épületekben lezajlott robbanás után lép fel, de előfordult már kőbányászati omlasztás után is. Ilyenkor nemcsak a munkavállalók, hanem a lakosság védelmére is gondolni kell, a közteréseken, talajon keresztül a pincékbe, házakba is bejuthat a mérgező gáz. Kiemelt fontosságú mind nyílt, mind zárt térben a szellőztetési, a füstvárési idő betartása, melyet befolyásolnak a klímaviszonyok, domborzat és természetesen zárt térben az elszívás minősége.

Kulcsszavak: robbantás, szén-monoxid, szellőztetési idő, légzésvédő

1. Bevezetés

A bányászatban, épületek bontásakor, katonai feladatok során, de még a barlangászatban is előfordulhatnak robbantással végrehajtott műveletek. A robbanási folyamat lezajlásakor nagy mennyiségű gáz keletkezik, amely a másodperc törtrésze alatt kitágul, ezzel lökéshullámot indít meg, amely munkát végez. A keletkező gáz tartalmaz mérgező és kevésbé mérgező összetevőket, azért szükséges vizsgálnunk és meghatároznunk ezen anyagokat, mivel a feladat végrehajtása után dolgozók megközelítik, átvizsgálják a robbantás helyszínét, ott munkát végeznek és az egészségük védelmében rendszabályokat kell hoznunk a mérgezések elkerülése céljából.

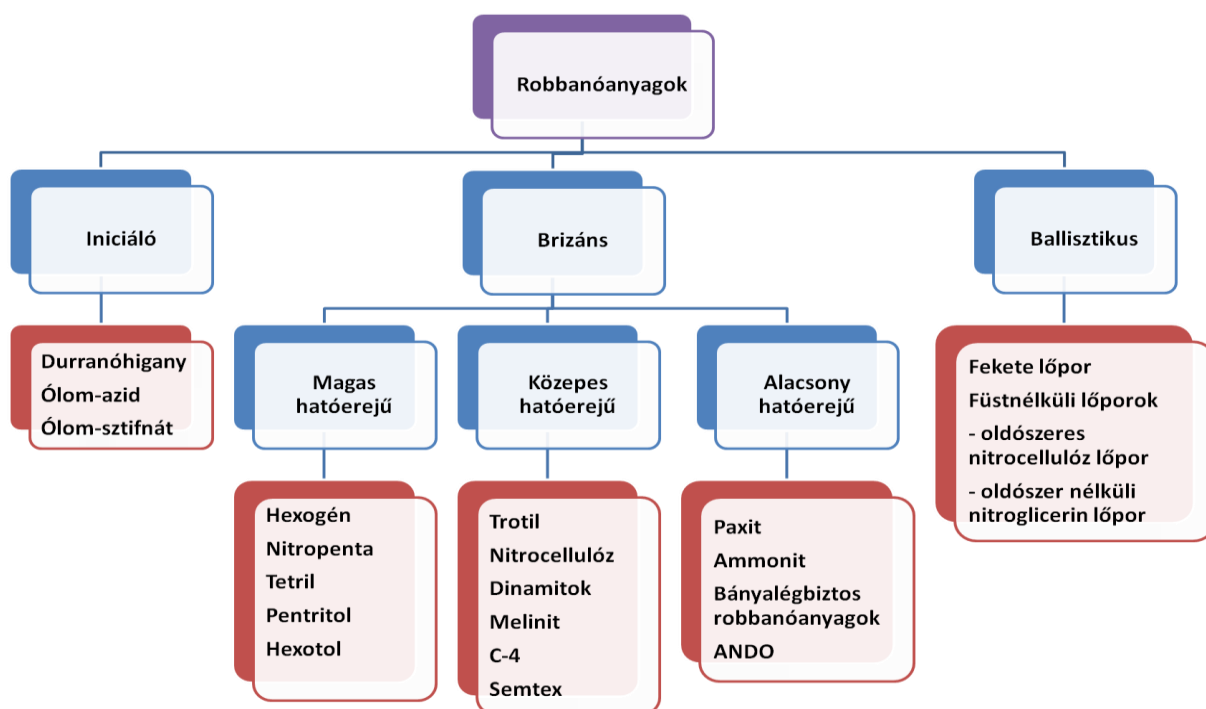
¹ 1. Honvéd Tűzszerész és Hadihajós Ezred



1. ábra Vigyázz! Robbantás!

2. A robbanóanyagok oxigénegyenlege

A robbanásnál az anyag összetétele igen rövid idő alatt nagy sebességgel megváltozik, hő- és gázfejlődés következik be. A nagy reakciósebesség miatt az égés kívülről nem táplálható, ezért a robbanóanyagok az égés összes elemét (az oxigént is) önmagukban tartalmazzák. [1]



2. ábra Legfontosabb robbanóanyagok [1]

Kondenzált robbanóanyagok elrobbanásánál nagyon magas nyomás keletkezik, az összepréselt termékek sajátosságai lényegesen különbözhetnek az ideális gáz tulajdonságaitól. A folyamat során nem mindig alakul ki a kémiai egyensúly, a robbanási termékekben kisebb-nagyobb mennyiségben visszamaradnak közbeeső vegyületek. A robbanási termékek összetétele nemcsak a termodinamikai egyensúlytól függ, hanem a kémiai reakció kinetikájától és a nagyon magas nyomáson összepréselt gázok tágulási kinetikájától is.[2]

A szerves robbanóanyagok rendszerint szénből, hidrogénből, oxigénből és nitrogénből állnak, de tartalmazhatnak ként, klórt és fémeket is. Ennek megfelelően a robbanási termékekben a legkülönbözőbb gáznemű és szilárd vegyületek fordulhatnak elő. A felsorolt összetevők aránya a robbanóanyag oxigénegyenlegének függvénye.

- CO_2 , H_2O , CO , O_2 , H_2 , CH_4 , C ;
- N_2 , NH_3 , C_2N_2 , HCN , NO , N_2O , NO_x ;
- SO_2 , H_2S , HCl , Cl_2 ;

- fém-oxidok, -karbonátok, -bikarbonátok, -cianidok, -szulfátok, -szulfitok, -szulfidok, -kloridok.[2]

Az oxigénegyenleget a robbanó vegyületben lévő éghető elemek és az oxigéntartalom közötti arány határozza meg, 100 gramm robbanóanyagra vonatkozóan a meglévő és a teljes oxidációhoz szükséges oxigénmennyiség különbsége. Az egyes végtermékek megjelenése, tehát a mérgező gázok mennyisége ennek a jelzőszámnak az értékétől függ.

Legideálisabb a helyzet, ha az oxigénegyenleg 0, ekkor főleg CO₂, vízgőz és N₂ keletkezik, robbanáskor a füst világosszürke vagy fehér, ehhez az értékhez legközelebb a nitroglicerin (OE=+3,5) és az ammóniumnitrát (OE=+20,0) áll.

Pozitív oxigénegyenleg esetén oxigénfelesleg van, a robbanás során nitrózus gázok keletkeznek, a füst rozsdavörös vagy sárga. Negatív az oxigénegyenleg, tehát oxigénhiány van a legtöbb alkalmazott robbanóanyag esetén. A katonai harcanyagok esetében, mint TNT, hexogén, nitropenta, szintén negatív ez a jelzőszám. Robbanáskor sötétszürke füst keletkezik, kormos lesz a robbantott anyag. Az oxigénegyensúlyt javítani lehet oxigénhordozó vegyületek alkalmazásával pl. nátrium-nitrát, nátrium perklorát. [1,3]

1. táblázat Néhány robbanóanyag oxigénegyenlege [1]

Robbanóanyag neve	Oxigénegyenleg
<i>Ammónium-nitrát</i>	+20,0
<i>Hexogén</i>	-21,6
<i>Durranóhigany</i>	-11,3
<i>Nitroglicerin</i>	+3,5
<i>Nitrocellulóz</i>	-38,7
<i>Oktogén</i>	-21,6
<i>Pikrinsav</i>	-45,4
<i>Tetril</i>	-47,4
<i>TNT</i>	-74,0
<i>Nitropenta</i>	-10,1

A robbanási gázok összetételét az oxigénegyenlegen kívül befolyásolhatja annak fizikai állapota, felhasználás körülményei (pl. tökéletlen robbanás, fojtás hiánya), iniciálás módja, kedvezőtlen időjárási viszonyok (szélcsend, leszálló légáramlatok) is. [1]

A robbanás során nagyon rövid idő alatt nagyon nagy mennyiségű, akár több ezer köbméter gáz keletkezik, a nagy nyomás miatt a gáz halmazállapotú részecskék bepréselődnek a talajba, a közetrésekbe, ott felhalmozódhatnak, ahonnan később hosszan szivároghatnak a külvilág felé, kőbányászatban előfordult mérgező esetek miatt méréseket végeztek, és a robbantás után 8 nappal még kimutatható volt a szén-monoxid jelenléte. Előfordult, hogy a kőbányához közeli pincékben halmozódott fel a szén-monoxid szintén mérgezőeket okozva. [4,5]

Zárt terekben problémaként jelentkezhet, hogy a keletkező szén-monoxid a légkör oxigéntartalmát felhasználva szén-dioxiddá alakul, ezáltal oxigénhiányos környezet jön létre, emellett megemelkedik a szintén mérgező szén-dioxid szintje is.

3. Szén-monoxid mérgezés jellemzői

A keletkező mérgező gázok esetében nem hagyható figyelmen kívül rendkívüli egészségkárosító és környezetszennyező hatásuk sem. A legnagyobb jelentősége a szén-monoxidnak van mind az egészségügyi hatások megjelenésének kockázata, mind a robbanás során keletkezett mennyiség miatt.

A szén-monoxid a kémiai típusú fojtógázok csoportjába tartozik. Színtelen, szagtalan, a levegőnél kisebb fajsúlyú, tűzveszélyes gáz, vízben kevésbé oldódik. Szerves anyag tökéletlen égésekor keletkezik. Meggyújtva szén-dioxiddá ég el. A klórral napfény hatására foszgénné (COCl_2) egyesül.

Hatásai: Felszívódása kizárólag tüdőn keresztül. A szénmonoxidnak 300 x nagyobb a hemoglobinhoz való affinitása, mint az oxigénnek, ezért a kis mennyiségű CO jelenlétében is átalakul a hemoglobin egy része karboxi-

hemoglobinná, így az oxigén leadása a szövetek felé gátolt. A csökkent oxigén ellátás legkorábban a központi idegrendszerre hat. Specifikus mérgező hatása is van (a központi idegrendszer magas vastartalmú részei károsodnak). Kiválasztása szintén a tüdön keresztül történik. Biológiai felezési ideje 5 óra, melyet oxigénnel dúsított levegő belélegzésével csökkenteni lehet. Toxicitás függ a szén-monoxid iránti érzékenységtől, amely egyéni, a fiataloknál nagyobb; az expozíció idejétől; belélegzett levegő CO tartalmától; a szervezet anyagcsere állapotától (pl. izommunka); vér hemoglobintartalmától (pl. vérszegénység); dohányosok érzékenyebbek, a vérben magasabb a karboxi-hemoglobin tartalom.

Tünetek:

1. Akut mérgezés: szédülés, fejfájás, bágyadtság, részegséghez hasonló állapottal kezdődik, majd eszméletlenség, halál. A nagyfokú izomgyengeség miatt gyakran lehetetlen a menekülés. Az arc cseresznyepiros. Késői tünetek: szédülés, emlékezet zavar, hallás és látászavarok, gyakori a szívinfarktus (2%-os karboxi-hemoglobin tartalom esetén már EKG eltérések jelentkeznek).

2. táblázat Szén-monoxid mérgezés tüneteinek a vér karboxi-hemoglobin tartalma alapján

A vér CO-Hb tartalma (%)	tünetek
5-10	kevés panasz, látászavarok
10-20	fejfájás, szédülés
20-30	erős fejfájás, kábaság, szívdobogás
30-40	látászavarok, hányinger, hányás, collapsuskészség
40-50	tudatvesztés, emelkedett pulzus és légzésszám
50-60	mély coma, görcsök
>60	halál

3. táblázat Szén-monoxid mérgezés szakaszai

mérgezés szakaszai	tünetek
kábulási szak	fejfájás, fülzúgás, szédülés, hányinger, hányás, kábultság, de lehet izgatottság
görcsölés szaka	inkontinencia, félrenyelés, eszméletlenség, görcsök
légzésbénulás szaka	halál
gyógyulási szak	ha a mérgezett túléli, maradandó tünetek jelentkeznek: parkinsonizmus, mozgászavar, egyensúlyzavar, pszichés zavarok

2. Krónikus mérgezés tünetei: szédülés, fejfájás, álmatlanság, gyomor és szívtáji fájdalom, szív-és érrendszeri zavarok, csökken a szellemi teljesítőképesség, emlékezetzavar, alvászavar, csökkenő munkateljesítmény, ingerlékenység, érzelmi labilitás léphet fel. Sok esetben észleltek fokozott szérum koleszterin-, lipoprotein- és glükóz-koncentrációt.

Mérgezés esetén a legfontosabb a mérgezett kimentése, tüneti kezelés, oxigén belélegeztetése. Minden esetben kórházi megfigyelés szükséges a késői szövődmények megelőzése végett. Nagyon fontos, hogy robbantás után az esetleges mérgezett kimentésekor a mentőszemélyzet megfelelő védőeszközt viseljen, mivel könnyen mérgezetté válhat maga is.[6]

1988 óta az Egyesült Államokban és Kanadában 17 bizonyított és 39 feltételezett esetet regisztráltak, amelyek során robbantási feladat végrehajtásakor szén-monoxid mérgezésben szenvedtek munkavállalók a mély- és külszíni bányákban, építkezéseken, 1 fő meghalt. [7] Az Egyesült Államok hadseregében a szén-monoxid mérgezés a 7. leggyakoribb foglalkozási betegség, az esetek

jelentős része az üzemanyagok kezelése, felhasználása kapcsán alakult ki, de előfordult robbantási feladat végrehajtásakor is. [8]

4. A szén-monoxid mennyiségének meghatározása robbantáskor

Az előzőekben említésre került, hogy a robbanás miatt a kémiai reakciók sokszor nem szabályszerűen zajlanak le, a kémiai egyensúly nem mindig alakul ki, illetve figyelembe kell vennünk az egyéb alkotórészekből származó égéstermékeket is. A szén-monoxid szint meghatározás céljából méréseket végeztünk az egyes robbanóanyagokkal.

Módszer: Szén-monoxid mérőműszert a robbantások során a munkát irányító robbantásvezető, tűzszerész járőrparancsnok légzési zónájában személyi mintavevőként elhelyezve kaptuk a mérési eredményeket. A mérésekhez a LASCAR Electronics EL USB-CO datalogger-t alkalmaztunk. A műszer 1 ppm pontossággal képes mérni akár 10 másodpercenként. Az adatok kinyerése PC alkalmazáson keresztül történik, amely grafikus formában is megjeleníti a mérési eredményeket.

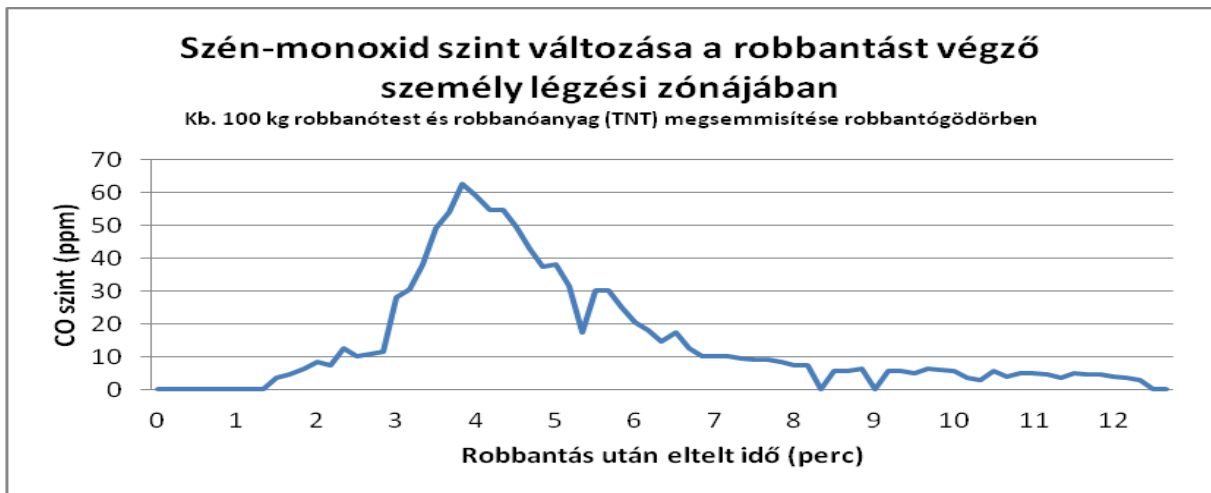


3. ábra LASCAR EL USB CO datalogger

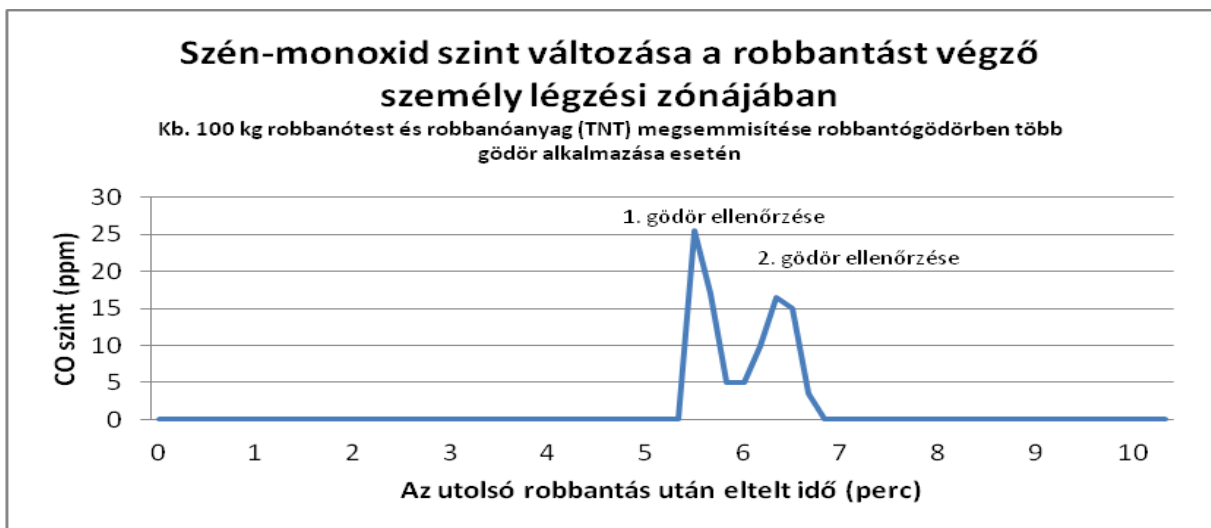


4. ábra Mérés kivitelezése

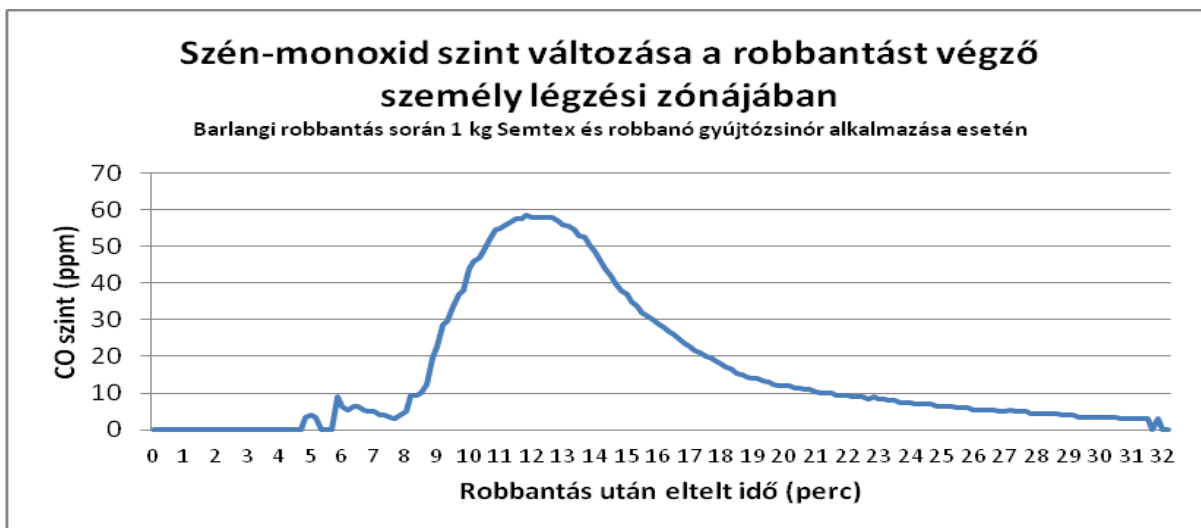
A következő diagramokon különböző robbantási feladatokon mért szén-monoxid értékek láthatók a robbantás után eltelt idő függvényében.



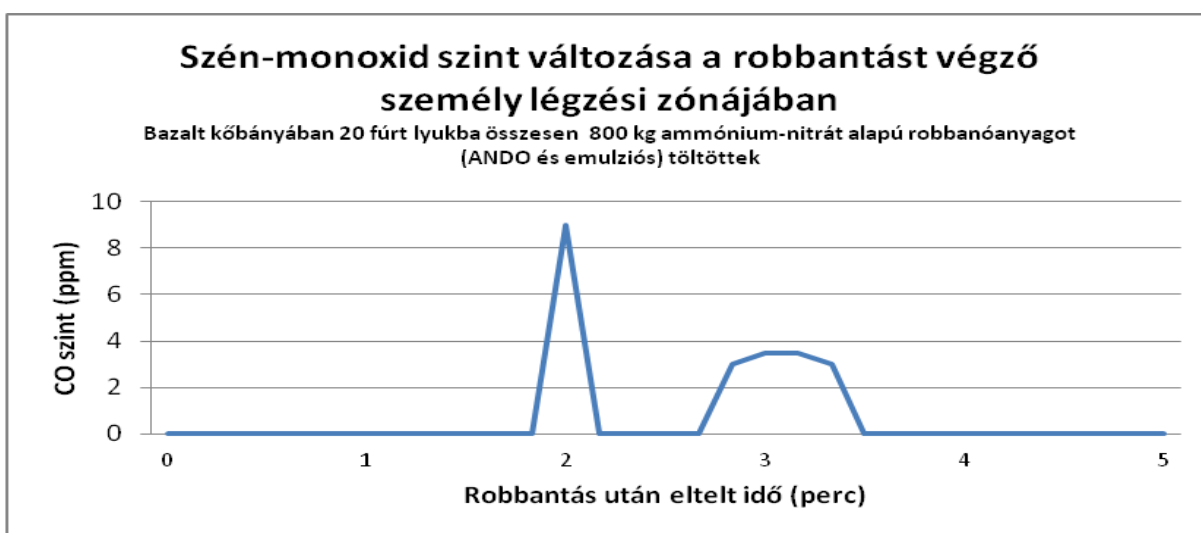
5. ábra Fel nem robbant lőszer, gránátok megsemmisítése közben mért CO-szint



6. ábra Fel nem robbant lőszer, gránátok megsemmisítése közben mért CO-szint több robbantógödör alkalmazása esetén

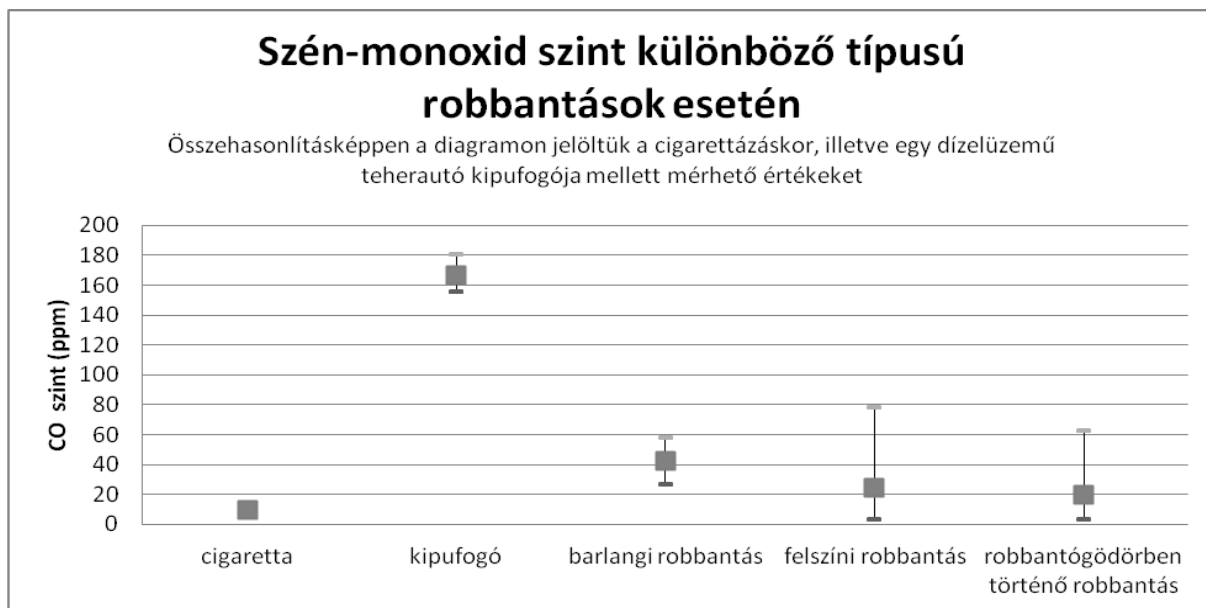


7. ábra Barlangi robbantás során 1 kg Semtexet és robbanó gyújtószinórt használtak fel



8. ábra Bazalt kőbányában végzett robbantás során 800 kg ammónium-nitrát alapú robbanóanyagot használtak fel

A mért értékek összesítve a következő diagramon láthatók, összehasonlításképpen feltüntettük a cigarettázó kollégák környezetében és egy dízelüzemű teherautó kipufogója mellett mért szén-monoxid értékeket.



9. ábra Maximális szén-monoxid szint különböző típusú robbantások esetén

A mért értékek a robbantást végző személyt érő expozíciót mutatják, az expozíciós idő nyílt területen 2-3 perctől 10 percig tart, míg zárt területen a felszabaduló gáz eloszlása a fél órát is meghaladhatja. A nyílt területen végzett robbantásoknál a szén-monoxid szint egyes esetekben igen rövid időre meghaladta a megengedett csúcskoncentrációt. A barlangi, tehát zárt térben végrehajtott robbantás során a robbanóanyag mennyisége a többi feladathoz képest minimális volt (1 kg), mégis csúcskoncentráció közeli értékeket mértünk. Érdekes összehasonlítani a cigarettafüst és a kipufogógáz által okozott szén-monoxid szinteket a robbantásnál mértekkel.

A következő táblázatban a légtér szén-monoxid koncentrációja alapján várható egészségkárosodások láthatók:

4. táblázat Szén-monoxid koncentrációtól függő egészségügyi hatások [9]

A szén-monoxid különböző koncentrációjának a hatásai	
0-35 ppm	Átlagos lakástér (1 órában).
<100 ppm	Biztonságos, enyhébb fejfájás.
200 ppm	Enyhe fejfájás, fáradtság, szédülés, hányinger 2-3 óra alatt.

400 ppm	Homloktáji fejfájás 1-2 órán belül, az élet veszélyeztetése 3 óra elteltével.
800 ppm	Hányinger, szédülés, eszméletvesztés 2 óra elteltével, 2-3 órán belül halál.
1600 ppm	Fejfájás, szédülés, hányinger 20 percen belül, halál 1 órán belül.
3200 ppm	Fejfájás, szédülés, hányinger 5-10 percen belül, halál 15-20 percen belül.
6400 ppm	Fejfájás, szédülés, hányinger 1-2 percen belül, halál 10-15 percen belül.
12800 ppm	Halál 1-3 percen belül.

5. táblázat Szén-monoxid légtérben megengedett határértékei, megelőzési szintek [6]

Munkahelyi monitorozás	Koncentráció (mg/m³)
Megengedett átlagos koncentráció (ÁK) ²	33 (30 ppm)
Megengedett csúskoncentráció (CK) ³	66 (60 ppm)
Megelőzés szintjei	
Készenléti fokozat	Koncentráció (mg/m³)
Készenléti fokozat	20-40
Védelmi fokozat	40-450
Evakuálási fokozat	> 450

² *Megengedett átlagos koncentráció:* a légszennyező anyagnak a munkahely levegőjében egy műszakra megengedett átlag koncentrációja, amely a dolgozó egészségére általában nem fejt ki káros hatást, jelölése: ÁK

³ *Megengedett csúskoncentráció* (rövid ideig megengedhető legnagyobb levegőszennyezettség): a légszennyező anyagnak egy műszakon belül maximum 4 alkalommal 15 perc időtartamban megengedett, az ÁK értéket meghaladó legnagyobb koncentrációja (az ÁK- és CK-értékre vonatkozó követelményeknek egyidejűleg kell teljesülniük), jelölése: CK

5. Munkavédelmi, munkaegészségügyi vonatkozások

A katonai robbantásokkor és nyíltszíni fejtéseken várakozási idő nincs meghatározva, a robbanási gázfelhő szétoszlását követően lehet végrehajtani a robbantógödör ellenőrzését, eddig ezzel kapcsolatban a hazai katonai gyakorlatban egészségkárosodást nem jelentettek. A mérési eredményeket vizsgálva a felszíni robbantásoknál javasolt a várakozási idő szabályzatban történő meghatározása minimum 5 perc időtartamban és pontos mérése a feladat végrehajtásakor. Természetesen figyelembe kell venni a terepviszonyokat és az időjárási paramétereket (hőmérséklet, szél, eső) is.

Más a helyzet a bányászatban mélyszíni fejtéseknél végrehajtott robbantások esetén, itt az omlasztás után általában 30 perces a füstrevárési idő a szellőző berendezések folyamatos működtetése mellett. A pontos várakozási idő meghatározást az MSZ 14-05031:1988 szabvány írja elő a bányatérsgben a légáramlás sebességének és a légcsatorna átmérőjének és hosszának ismeretében. A barlangi robbantásokra sokszor mentési szituációban van szükség, ezért hosszú várakozási idő, vagy magas légtérkoncentrációk nem megengedhetők. Mindkét esetben szén-monoxid érzékelők használata szükséges, melyek jelzik, ha a helyi koncentráció már káros lehet az egészségre. Ez esetben légzésvédők segítségével meg lehet akadályozni a mérgezés kialakulását.

A tűzvédelemben és a bányászatban alkalmazott kámzsás, szűrős önmentő légzésvédő készülékek füstből, szén-monoxidból és egyéb mérgező gázokból való személyi menekülésre szolgálnak és egyszeri használatra tervezettek. A panoráma teljesárlarcokhoz különböző védelmi képességű szűrőbetéteket lehet csatlakoztatni, ebben az esetben mindenképp olyat kell választani, amely a szén-monoxid és a nitrogén-oxidok ellen is véd (CO- fekete sáv, NO- kék sáv a szűrőn). A szűrő típusú légzésvédő készülékek csak rövid ideig használhatók, akkor ha oxigén is jelen van a légtérben, ellenkező esetben független

levegőellátással rendelkező (sűrített levegős) légzőkészüléket kell alkalmazni.
[10]

További fontos szempont a biztonsági távolság betartása mind biztonságtechnikai, mind munkahigiénés szempontból, célszerű kihasználni a terepviszonyokat is, és természetesen a széllel szemben nem célszerű tartózkodni.



**10. ábra Panoráma teljesálarc
szűrőbetéttel [10]**



**11. ábra Önálló légzőkészülék
[10]**

A kémiai biztonság és a munkaegészségügy egyik alapelve a veszélyes anyagok helyettesítése, kiváltása kevésbé veszéllyessel. Megfontolandó a kedvezőtlenebb oxigénegyenlegű robbanóanyagok pl. TNT, SEMTEX keverékekben történő alkalmazása, vagy kiváltása pl. ammónium-nitráttal, NONEL-rendszer alkalmazása a robbanó gyújtózsín helyett, így csökkenthető a keletkező mérgező gázok mennyisége.

A fentieken kívül elengedhetetlenül fontos minden munkavállaló felkészítése, oktatása a mérgezés tüneteire, minél korábbi felismerésére, valamint a mentés és elsősegélynyújtás kivitelezésére.

6. Összegzés

Publikációnkban összefoglaltuk a robbantási feladatok során keletkező mérgező gázok összetételét, ezek közül a szén-monoxid egészségkárosító hatásait és a megelőzés lehetőségeit. Az utóbbi években a robbanóanyagok fejlesztésekor már számításba veszik a minél tökéletesebb kémiai reakciók lejátszódásához szükséges feltételek kialakítását és az oxigénegyenleget, de ez nemcsak a munkavégző képesség javítása és a környezetvédelmi szempontok, hanem a foglalkozási mérgezések veszélye miatt is fontos. A legjelentősebb mérgező termék, a szén-monoxid színtelen, szagtalan, gyakorlatilag észrevehetetlenül gyilkol, ezért életfontosságú a megelőzés, és a munkavédelmi, munkaegészségügyi rendszabályok betartása.

Irodalom

- [1] Lukács László: Katonai robbantástechnika és környezetvédelem, ZMNE jegyzet (1997) p. 304.
- [2] K.K.Andrejev- A.F.Beljajev: A robbanó anyagok elmélete, 1965, Budapest.Műszaki Könyvkiadó pp. 528-564.
- [3] G. Kamburova: The influence of the oxygen balance on the chemical reactions of explosive, Blasting Techniques 2010, Conference Proceedings, pp.176-186.
- [4] NIOSH Hazard ID Carbon Monoxide Poisoning and Death After the Use of Explosives in a Sewer Construction Project <http://www.cdc.gov/niosh/hid3.html> Letöltés ideje: 2011.05.21.18.30.

[5] Kenneth K. Eltschlager, William Shuss, Thomas E. Kovalchuk: Carbon Monoxide Poisoning at a Surface Coal Mine A Case Study

<http://arblast.osmre.gov/downloads/OSM%20Reports/ISEE%202001-CO3.pdf>

Letöltés ideje: 2011.05.21.18.00.

[6] Ungváry György, Morvai Veronika: Munkaegészségtan, Medicina, 2010 p. 936.

[7] Marcia L. Harris, Richard J. Mainiero: Monitoring and removal of CO in blasting operations, <http://www.cdc.gov/niosh/mining/pubs/pdfs/maroc.pdf>

Letöltés ideje: 2011.05.21.18.40.

[8] US Army Center for Health Promotion and Preventive Medicine: Carbon monoxide is most common poisoning in workplace, The monitor, Dec. 14, 2006, p. 52.

[9] <http://www.szenmonoxid.hu/> Letöltés ideje: 2011.03.24.16.00.

[10] Drager termékprospektus, 2009 p.44