

KÜLSZÍNI BÁNYÁSZATI ROBBANTÁSOK SZEIZMIKUS HATÁSA AZ ERDŐBÉNYEI ANDEZITBÁNYÁBAN

Szarvas Beáta

Ph.D. hallgató, Miskolci Egyetem, Bányászati és Geotechnikai Intézet,
3515 Miskolc-Egyetemváros, e-mail: beata.szarvas@uni-miskolc.hu

Virág Zoltán

egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Bányászati és Geotechnikai Intézet,
3515 Miskolc-Egyetemváros, e-mail: zoltan.virag@uni-miskolc.hu

Absztrakt

A bányászati célú robbantások egyik kísérőjelensége a kőzetben terjedő szeizmikus hatás. Ennek mértéke befolyásolható különböző megoldásokkal, így káros hatása elkerülhető, de a jelenlétével mindig számolni kell. A rezgések nagyságát geofonnal mérhetjük, amit a hatósági előírások évente egyszer kötelezővé is tesznek a bányaiüzem számára. Egy kiválasztott kőbányához közeli lakott területen végzett korábbi szeizmikus ellenőrző mérések eredményei kerülnek bemutatásra. A mért értékeket összehasonlítjuk a robbantásokkor és a jelenleg érvényes szabályzatok előírásaival.

Kulcsszavak: bányászat, robbantás, szeizmikus hatás, rezgésmérés

Abstract

One of the side effects of blasting is the seismic effect propagating in the rock. The extent of this can be influenced by different solutions, so its harmful effects can be avoided, but its presence must always be taken into account. The magnitude of the vibrations can be measured with a geophone, which is also made mandatory for the mining operation by the official regulations once a year. The results of previous seismic monitoring measurements in a residential area near a selected quarry are presented. The measured values are compared with the requirements of the current and previous regulations.

Keywords: mining, blasting, seismic effect, vibration measurement

1. Bevezetés

A bányászat egyidős az emberiség történetével. A technikai fejlődéssel mindig is egyre nagyobb szükség mutatkozott a különböző nyersanyagokra, amelyeket a Föld kérge rejt. Ezek az ásványi anyagok többféleképpen kitermelhetők. Azt, hogy ezek közül a művelési módszerek közül melyik a leggazdaságosabb, a telepviszonyok, a telep és a fedőkőzetek minősége, a meglévő és az egyes művelési technológiákhoz kiépítendő infrastruktúra és egyéb gazdasági tényezők együttes figyelembevételével határozhatjuk meg.

A külfejtésesek szilárd kőzeteinek jövesztése nagyrészt robbantással történik. Az itt alkalmazott robbantástechnológiák célja, hogy a lejövesztett készletet rakodásra, szállításra és további feldolgozásra alkalmas legyen. A robbantáskor létrehozott energiának általában a nagyobb része azonban nem kedvező a felhasználó számára. A káros környezeti hatások közül a szeizmikus hatás az egyik legjobban

mérhető. A rezgések hatásai nem olyan látványosak, mint a repeszhatásból és léglökésből keletkezők, azonban környezetterhelése túlnyúlik a bányatelek határán. A bánya környezetében levő idegen tulajdonú létesítmények védelme természetes és kötelező feladata a bánya üzemeltetőjének. A robbantások tervezése, a bánya felelős irányítása és a környezet védelme megköveteli mind a bányavállalkozótól, mind a robbantásvezetőtől, hogy kellő pontossággal ismerje a bánya és környezete szeizmikus viszonyait. A tervező a robbantási szabályzatokban előírt módon előre megbecsülheti a várható rezgést, hogy az ne haladja meg a megengedett értéket a védendő létesítményeknél. A bányavállalkozóknak célszerű lenne nagyrobbantások alkalmával a robbantások okozta rezgéseket rendszeresen mérnie, amelyeket a hatósági előírások évente egyszer kötelezővé is tesznek egy független ellenőrző vizsgálati mérés által. Ezek meglétével kivédhetők a bányáüzem robbantásaival kapcsolatos panaszos bejelentések (Bohus et al., 1983; Bohus, Boócz, 2006).

Az alábbiakban egy kiválasztott kőbányához közeli lakott területen végzett szeizmikus ellenőrző mérések eredményei kerülnek bemutatásra. A mért értékeket összehasonlítjuk a robbantásokkor és a jelenleg érvényes Általános Robbantási Biztonsági Szabályzat előírásaival (9/1987 (Bh. É. 3.) OBF számú szabályzata; MSZ 13018:1991; 13/2010. (III. 4.) KHEM rendelet).

2. Az erdőbényei bányában végzett robbantások

Erdőbényén az andezitet csak a múlt század elején kezdték el bányászni a Mulató-hegyen, a Hubertusz-bányában. Az 1925-ben megnyitott bányában, kezdetben kézi módszerrel, majd robbantásos technikával fejtettek. Az itt és a szomszédos Barnamáj hegyen bányászott sötétszürke ép andezitet a helyszínen különböző szemnagyságúra összezúzták és útkavicsolásra, vasúti töltések készítésére, javítására használták. A kitermelt nyersanyag kisebb-nagyobb tömbjei építkezési célokat is szolgáltak. A Hubertusz kőfejtő a megfelelő kőanyag csökkenése, illetve vízproblémák miatt 1983-ban bezárt. Sokáig felhagyva állt, majd a 2000-es években újra művelték (2007-ig), azóta a komolyabb bányászati tevékenység újra leállt, jelenleg csak néha hordanak el meddőt útfeltöltésekre, mederigazításokra (wikipedia.org: Mulató-hegy). A tanulmány adatait az „Erdőbénye-V.-Andezit” védjegyű bányatelen (1. ábra) 2006-2007. években végzett robbantási munkákhoz kapcsolódó mérési adatok szolgáltatták.



1. ábra. Az erdőbényei andezitbánya látképe (Bohus Géza, 2007)

Ezen a helyen rövid időn belül hasonló technológiával végzett robbantások voltak, melyek által keltett rezgéseket azonos helyeken mérték. Ez a körülmény lehetőséget adott arra, hogy bizonyítsuk a szabályzatok (kötelező előírások) használhatóságát.

A vizsgált külszíni bányászati célú robbantásokat az erdőbényei kőbánya keleti és nyugati oldalán hajtották végre. Minden robbantásnál ANDO típusú robbanóanyagot használtak EMULGIT indítótölté-nyekkel. A robbantás indítására alkalmazott villamos gyutacsok DeM típusúak voltak. A szeizmikus mérések - az előírásoknak megfelelően - a robbantási munkákhoz legközelebb fekvő lakóháznál történtek. Jelen tanulmányban az összehasonlíthatóság okán kizárólag a vizsgálat sorozat azon mérési eredményeit vettük figyelembe, amelyek egyazon épületnél lettek mérve, a közel azonos távolságban és irányban végrehajtott robbantások során.

3. A vizsgált robbantások szeizmikus hatásaira vonatkozó szabályok

A szeizmikus rezgések kárhatásaira vonatkozó előírások, szabványok és szabályzatok (hazai és külföldi) kitérnek arra, hogy a károk kialakulásának előre becsülhető valószínűsége van. Ezek általában kimondják, hogy ha a rezgések a még megengedett legnagyobb rezgési sebességet nem haladják meg, akkor a kárhatás valószínűsége olyan kicsi, hogy a kár gyakorlatilag nem következik be. Ha a rezgési sebesség ezt az értéket meghaladja a kár valószínűsége nő, mely növekedés annál nagyobb, minél nagyobb a rezgési sebesség eltérése a még megengedett legnagyobb rezgési sebességtől.

A robbantások szeizmikus hatásaira vonatkozó szabályokat a robbantások idején érvényben lévő 9/1987 (Bh. É. 3.) OBF számú szabályzata a 2/1973. (NIM. É. 16.) OBF számú utasítással kiadott Általános Robbantási Biztonsági Szabályzat módosításáról (továbbiakban ÁRBSZ 1987) szóló rendelkezés III. függelék B. része (Bohus et al., 1983), a MSZ 13018:1991 Rezgések épületre gyakorolt hatása szabvány (továbbiakban MSZ 13018) 1. számú táblázata (Bohus, Boócz, 2006) és a napjainkban hatályos 13/2010. (III. 4.) KHEM rendelet az Általános Robbantási Biztonsági Szabályzatról (továbbiakban (ÁRBSZ2010) 4. melléklete (9/1987 (Bh. É. 3.) OBF számú szabályzat) tartalmazza. Alábbiakban összegyűjtésre kerülnek a vizsgált robbantásokra vonatkozó előírások.

3.1. ÁRBSZ 1987 vonatkozó előírásai

A rendelet (9/1987 (Bh. É. 3.) OBF számú szabályzat) alapján a **szeizmikus biztonsági távolságot** az alábbi képlettel kell meghatározni

$$L = k\sqrt{Q} \quad (1)$$

ahol

- L (m) – a szeizmikus biztonsági távolság,
- Q (kg) – az egyidejűleg robbanó töltet tömege,
- k – tényező értéke:
 - a) víz alatt vagy mocsaras talajban tervezett robbantásnál 100,
 - b) egy éven belül ötnél többször ismétlődő robbantás esetén 50,
 - c) egyedi robbantás esetén 25,
 - d) rátett töltet és áthalmozott anyag terítése esetén 5.

A robbantások várható rezgési sebességének meghatározására szolgáló számítás, amennyiben a szeizmikus biztonsági távolságon belül védendő létesítmény van:

$$V = \frac{k\sqrt{Q}}{l} \quad (2)$$

ahol

- V (mm/s) – az a rezgési sebesség, amelynél nagyobb nem várható l távolságban,
- l (m) – az egyidejűleg robbanó töltet tömegközéppontjától a megvédendő létesítménynek a legközelebbi talajfelszíni pontjáiig mért – a magasságkülönbséget is figyelembe vevő – távolság.

1. táblázat. A robbantásnál megengedett rezgési sebességek épületkategóriánként

A megvédendő létesítmény megnevezése	Megengedett legnagyobb rezgési sebesség v [mm/s]
Különleges védelmet igénylő létesítmények	szakértői vélemény szerint
Statikailag bizonytalan, megrongálódott építmény, műemlék, termelő kőolaj- és földgázkút, valamint 0,17 MPa-nál nagyobb és 0,07 MPa-nál kisebb nyomás alatt álló csővezeték és szerelvény	2
Panelház és statikailag nem teljes értékű építmény	5
Statikailag kifogástalan építmény, torony, gyárkérmény, villamos és vízmű szabadtéri villamos berendezés	10
Vasbeton vagy acélvázás építmény, alagút, 0,7 m-nél mélyebben vezetett csatorna és egyéb csővezeték, valamint szerelvény, föld alatti térség	20
Közút, vasút, függőpálya, villamos távvezeték, távbeszélővezeték	50

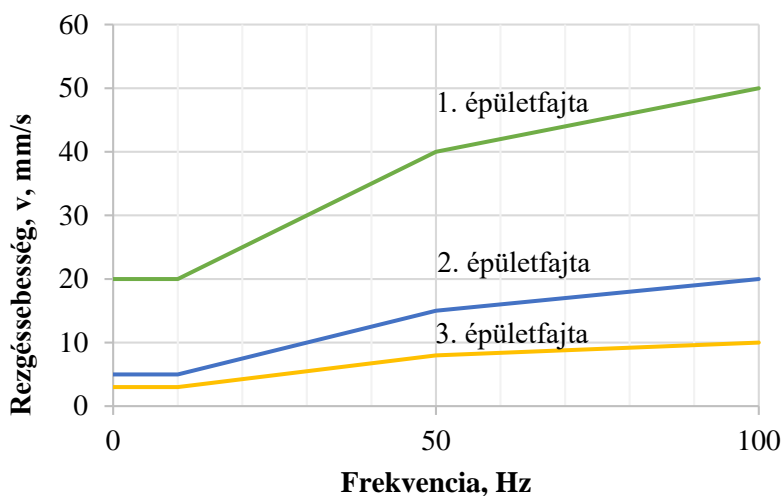
A szabályzat épületkategóriánként határozza meg az azokat terhelhető maximális rezgési sebességeket. A 200 m-nél nagyobb távolságban végzett robbantások esetén a rezgési sebességek fele engedhető meg minden olyan építményre, amelynek magassága meghaladja a 20 m-t, és magasabb a hosszabbik alapélénél.

3.2. Az MSZ 13018 szabvány robbantás keltette rezgésekre vonatkozó előírásai

A napjainkban is érvényes szabvány (MSZ 13018:1991) átmeneti folyamatok okozta rövid idejű rezgésekre, amelyek idővel vagy megszűnnek, vagy átmennek nem rövid idejű rezgésekbe és időtartamuk alapján nem okozhatnak kifáradást, a rövid idejű épületrezgések megítéléséhez, épületkategóriánként és frekvencia tartományonként tapasztalati értékekből határozza meg az épület alapnál x , y vagy z irányban fellépő rezgésebbesség megengedett irányértékeit, amelyek a 2. számú táblázatban kerültek összefoglalásra. Többszintes épületek vizsgálatakor további irányértékekkel szolgál a legfelső teljes szint földémsíkjaiban az épület vízszintes irányú rezgéseinek. A 2. ábra grafikusán is szemlélteti a 2. táblázat adatait a frekvencia függvényében.

2. táblázat. A megengedett rezgési sebességek épület fajtánként

Sor-szám	Épületfajta	Megengedett rezgési sebesség [mm/s]				
		Az alapokon különböző frekvenciánál				A legfelső teljes szint földémsíkjában, vízszintesen bármely frekvencián
		0 Hz	10 Hz	50 Hz	100 Hz	
1	Ipari területek	20	20	40	50	40
2	Lakóépületek	5	5	15	20	15
3	Különösen rezgésérzékeny épületek (pl.: műemlék)	3	3	8	10	8
4	Statikailag bizonytalan; építési előírásoknak meg nem felelő épületek	Szakértői mérlegelés szerint				



2. ábra. Az alapon fellépő rezgéseknek a 2. táblázat szerint megengedett irányértékei

3.3. A jelenleg érvényes ÁRBSZ 2010 vonatkozó részei

A jelenleg érvényes rendelet (13/2010. (III. 4.) KHEM rendelet) szerint a szeizmikus biztonsági távolságot - ami nem jelenti azonban az épületkárok feltétlen fellépését e távolságon belül - az alábbi képlettel vagy szakértői véleményben kell meghatározni:

$$L = \frac{K}{2} \sqrt{Q_f} \quad (3)$$

ahol,

- L (m) - a szeizmikus biztonsági távolság
- K - tényező, amelynek értéke:
 - a) víz alatt vagy mocsaras talajban végzett robbantásnál, és 10 m-nél vastagabb agyagrétegre épült objektumokra 160,
 - b) rendszeresen ismétlődő, előre kijelölt, viszonylag szűk körzetben, elsősorban termelési céllal végzett robbantás esetében 80,
 - c) egyedi, konkrét feladat megoldására vagy jelentősen változó területen végzett robbantás esetében 40,
 - d) rátett töltet alkalmazása és áthalmozott anyag terítése esetén 20.
- Q_f (kg) - a mértékadó töltet (gyutacs használata esetén az azonos névleges időzítési intervallumokban robbantott töltetek közül a legnagyobb; gyújtózsín használata esetén a legnagyobb töltet kétszerese; nyújtott töltet esetén a 20 méter hosszú töltet tömege)

A várható rezgési sebesség értékét a következő képlet segítségével kell meghatározni:

$$v = \frac{K\sqrt{Q_f}}{l} \quad (4)$$

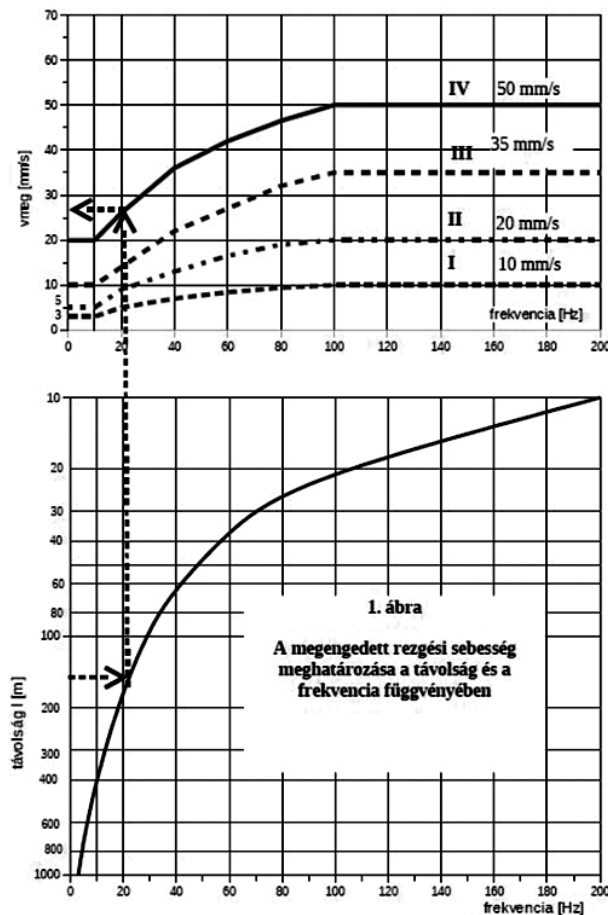
ahol

- l (m) - a mértékadó töltet tömegközéppontjától a megvédendő létesítmény legközelebbi pontjáig mért - a magasságkülönbséget is figyelembe vevő – távolság,
- v (mm/s) - a rezgési sebesség, amelynél nagyobb nem várható l távolságban.

3. táblázat. A megvédendő létesítmény besorolása

	A	B
1.	Megnevezés	Kategória
2.	Különleges védelmet igénylő létesítmények	I.
3.	25 m-nél nagyobb fesztávú építmény	
4.	Statikailag bizonytalan, megrongálódott építmények	
5.	Műemlék	
6.	Termelő kőolaj- és földgázkút, valamint 0,017 MPa-nál nagyobb és 0,07 MPa-nál kisebb nyomás alatt álló csővezeték és szerelvény	
7.	Tízszintesnél magasabb épület	II.
8.	Rádió- és TV-adótorony	III.
9.	Ép, jó állapotú építmény, torony, gyárkémény, villamos berendezés, távbeszélő vezeték	
10.	Vasbeton- vagy acélvázaz építmény	
11.	Alagút	IV.
12.	0,8 m-nél mélyebben vezetett csatorna és egyéb csővezeték, valamint szerelvény és egyéb föld alatti térség	
13.	Vasút, közút, függőpálya, villamos távvezeték	

A számított rezgési sebesség megfelelő, ha a rendeletben foglalt képlettel meghatározott rezgési sebesség v (mm/s) értéke kisebb az 3. ábrán leolvasott értéknél, figyelemmel a megvédendő létesítmény besorolására (3. táblázat).



3. ábra. A megengedett rezgési sebesség meghatározása a távolság és a frekvencia függvényében

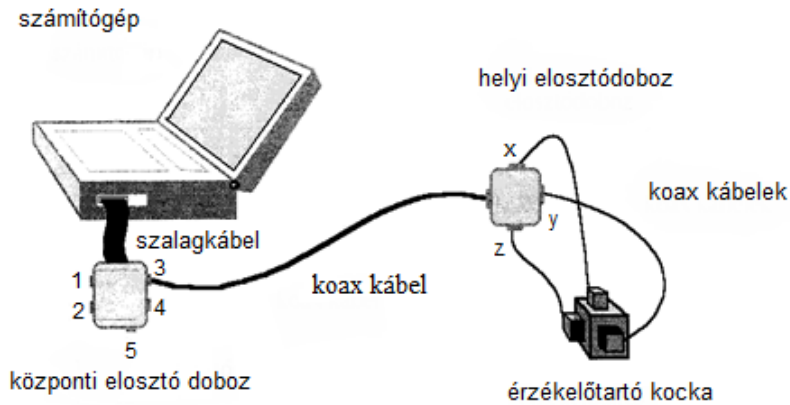
4. A szeizmikus mérés ismertetése

A méréshez a GeoPolita Kft. által készített GP-MF94VB hordozható számítógépes adatgyűjtővel ellátott rezgismérő és feldolgozó rendszert használtak. A rendszer 5 darab három dimenziós mérőpontban (x,y,z) történő mérésre alkalmas. A geofonok a tér három irányának (x, y, z) megfelelően mérik a rezgési gyorsulást és képezik a rezgési sebességet irányonként, valamint az eredő rezgési sebesség értékét.

A rendszer részei (4. ábra):

- központi mérő-feldolgozó egység (486/33 notebook számítógép),
- piezoelektromos érzékelő,
- kábelek,
- központi elosztódoboz,

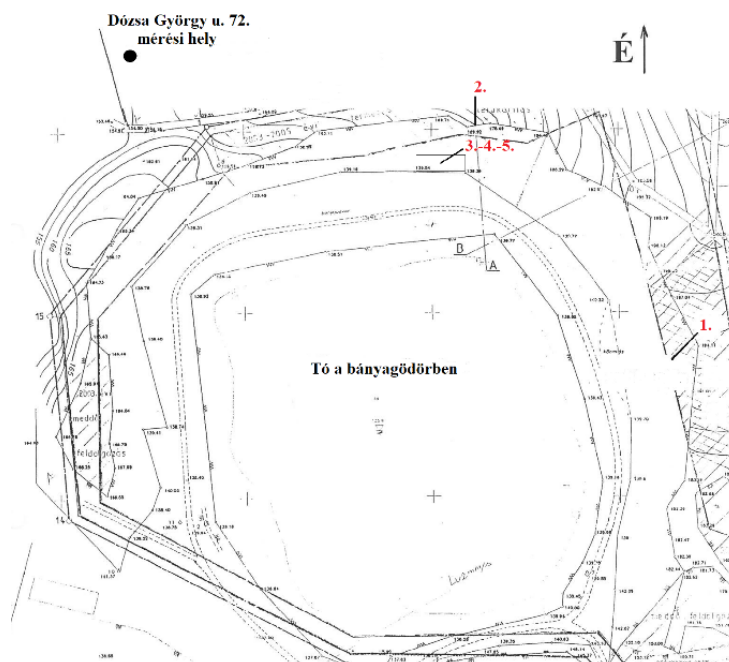
- helyi elosztódobozok,
- érzékelőtartó kockák,
- hord táskák.



4. ábra. A szeizmikus mérőberendezés részei [7]

A rezgésmérő geofon-csoportokat a bányához legközelebbi háznál 5 ponton helyezték el. Az 5. ábra szemlélteti a vizsgált robbantások (1-5.) valamint a mérések helyszínét. Látható, hogy az 1. robbantási hely és a szeizmikus mérési helyszín közre fogja a vízzel telt bányagödört.

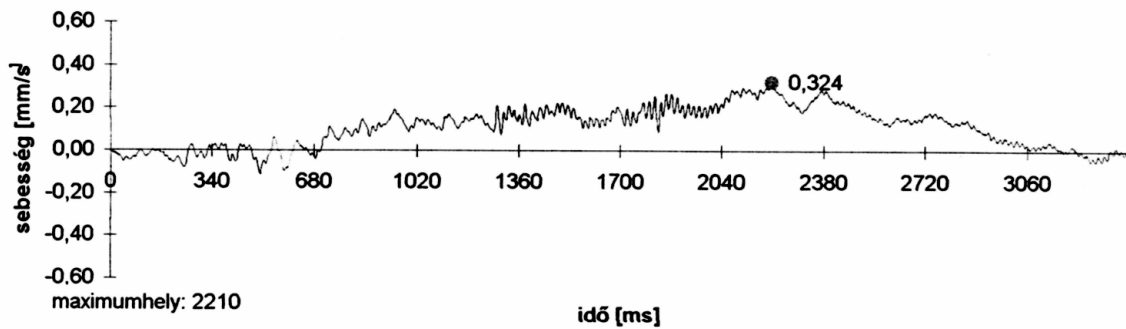
HELYSZÍNRAJZ (a bányaművelési térképről kicsinyítve)



5. ábra. A mérések elhelyezkedése (1.-5. pontok a robbantások helyszínei)

Szabályzat szerint a robbantás irányába mutató 'x' komponens került értékelésre (6. ábra).

X



6. ábra. Egy a bányára jellemző robbantási szeizmogram

5. A mérési eredmények összegzése

A vizsgálat során használt előírások közötti különbség abban mutatkozik meg, hogy a mért három egymásra merőleges rezgési sebesség komponens között az ÁRBSZ rendeletek a robbantás irányába mutató (v_x), az MSZ13018 szabvány pedig biztonsági okokból a legnagyobb értékű sebességkomponenst veszi figyelembe (v_{max}). A robbantások paramétereit a 4. táblázat, a mérések eredményeit az 5. táblázat foglalja össze (Bohus, Boócz, 2006-2007), ahol minden megfigyelt robbantási munkánál az öt mérési pontból a robbantás helyéhez legközelebbit és az ahhoz tartozó legnagyobb rezgési sebességeket vettük figyelembe. Az 5. táblázatban kiszámításra kerültek továbbá a robbantás szeizmikus hatását jellemző k tényezők és a mért rezgési sebességek (v_{max} és v_{xmax}).

4. táblázat. A robbantások paramétereit

Sorszám	A robbantás ideje	A robbantás és a mérési pont távolsága l [m]	Mértékadó töltetnagyság Q [kg]	Összesen felhasznált robbanóanyag mennyisége ΣQ [kg]
1.	2006. március	410	85	418
2.	2006. július	180	40	305
3.	2006. november	220	90	590
4.	2007. április	190	45	339
5.	2007. augusztus	225	37	29,5
Átlagérték		245	59	336

5. táblázat. A robbantások mérési eredményei

Sorszám	Maximális x irányú rezgési sebesség-komponens $v_{x\max}$ [mm/s]	Maximális rez- gési sebesség v_{\max} [mm/s]	A robbantás szeizmikus hatását jellemző k tényező értéke $k = v_{x\max} \frac{l}{\sqrt{Q}}$
1.	0,39	0,304	17
2.	0,95	0,95	27
3.	0,85	3,447	20
4.	1,53	1,53	43
5.	0,74	1,824	27
Átlagérték	0,89	1,611	27

A 6. táblázatban kiszámításra kerültek a vizsgált robbantásokra vonatkozó várható rezgési sebességek, az akkori és a jelenleg hatályban lévő szabályzatok előírásainak megfelelően.

6. táblázat. A robbantások adott szabályzat szerinti várható rezgési sebességei

Sorszám	k tényező		Várható rezgési sebesség [mm/s]	
	ÁRBSZ 1987	ÁRBSZ 2010	ÁRBSZ 1987	ÁRBSZ 2010
1.	50	80	1,53	2,44
2.	50	80	1,76	2,81
3.	50	80	2,16	3,45
4.	50	80	1,76	2,82
5.	50	80	1,35	2,16
Átlagérték	50	80	1,71	2,74

A 7. táblázatban meghatározásra kerültek a mérési ponton elhelyezkedő építményre megengedett maximális rezgési sebesség értékek adott körülmények között az MSZ13018 szabvány és az ÁRBSZ 2010 iránymutatásai alapján.

6. Összefoglalás

A bányászati célú robbantások egyik kísérőjelensége a kőzetben terjedő szeizmikus hatás. A bánya környezetében levő idegen tulajdonú létesítmények védelme érdekében a bányavállalkozóknak célszerű a nagyrobbantások alkalmával a robbantások okozta rezgéseket rendszeresen mérnie. Ezt az egyik legjobban mérhető káros hatást kell az érvényes szabályzatok előírásaival összevetni.

Jelen tanulmányban vizsgált korábbi robbantások eredményeiből megállapítható, hogy azok szeizmikus hatását jellemző k tényező számított értéke $17 < k < 43$ (átlagosan 27), kisebb, mint a kőbányai robbantásoknál akkor érvényes előírások által meghatározott $k = 50$ érték, és messze elmarad a napjainkban érvényben szabályzat által meghatározott $k = 80$ értékhez képest. Ebből jól látható, hogy a mérésekor alkalmazott robbantástechnológia az adott környezetben kisebb rezgéseket idézett elő, mint az átlagos körülmények között várható. Ez a körülmény arra is enged következtetni, hogy az erdőbényei andezit bánya környezete szeizmikusan nem túl érzékeny.

7. táblázat. A robbantások adott szabályzat szerinti megengedett rezgési sebességei

Sor-szám	A rezgések jellemző frekvenciája f [Hz]	Megengedett rezgési sebesség lakóépületre v_{sz} [mm/s] MSZ 13018 szabvány	Megengedett rezgési sebesség (ÁRBSZ 2010) v [mm/s]	
			Statikailag bizonytalan építmény (I. kategória)	Ép, jó állapotú építmény (III. kategória)
1.	10-20	5	3-5	10-20
2.	10-20	5	3-5	10-20
3.	39-47	15-20	6-8	22-23
4.	26-61	5-15	5-9	20-27
5.	14-52	5-15	3-6	10-25

A vizsgálat másik szemszögéből a mért x irányú sebességkomponensek maximális értékei lényegesen alacsonyabbak a szabályzatok által meghatározott megengedett sebességértékeknél, ezért a legközelebbi védett objektumoknál nem kell számítani a bányászati célú robbantásokból adódó károsító hatásra.

Irodalom

- [1] Bohus, G., Horváth, L., Papp, J. (1983). *Ipari robbantástechnika*. Műszaki Kiadó, Budapest.
- [2] Bohus, G., Boócz, Z. (2006). Egy lakott településhez közeli kőbányában végzett robbantások szeizmikus hatásának vizsgálata. *A Miskolci Egyetem Közleménye A sorozat, Bányászat*, 68, 63-76. <https://doi.org/10.1007/BF02960855>
- [3] 9/1987 (Bh. É. 3.) OBF számú szabályzata a 2/1973. (NIM. É. 16.) OBF számú utasítással kiadott Általános Robbantási Biztonsági Szabályzat módosításáról, Bányahatósági Értesítő 1987. november, Hírlapkiadó, Budapest, 1987.
- [4] MSZ 13018:1991 Rezgések épületre gyakorolt hatása, Magyar Szabvány, 1991.
- [5] 13/2010. (III. 4.) KHEM rendelet az Általános Robbantási Biztonsági Szabályzatról, Magyar Közlöny 31. szám, 9762-9829. o., Magyar Közlöny Lap- és Könyvkiadó, Budapest, 2010.
- [6] <https://hu.wikipedia.org/wiki/Mulató-hegy>, 2021.10.26.
- [7] Bohus, G., Boócz, Z. (2006-2007). *Jegyzőkönyv az erdőbényei andezitbányában végzett robbantások szeizmikus ellenőrző méréseiről*. ME Bányászati és Geotechnikai Tanszék tanszéki kutatómunkák, Miskolci Egyetem.