

**RISK ANALYSIS OF THE RESERVOIR OF A
MINING WASTE MANAGEMENT
FACILITY****BÁNYÁSZATI HULLADÉKKEZELŐ
LÉTESÍTMÉNY TÁROZÓJÁNAK
KOCKÁZATELEMZÉSE**ELEK Barbara¹ - BODNÁR László² - HORVÁTH-KÁLMÁN Eszter³**Abstract**

Mining waste management facilities can be referred to as the largest engineering structures in the world. Their serious accidents draw attention to the fact that these facilities have a potentially increasing danger through climate change and structural aging. Therefore, it is a very important task for the engineers of our time to explore the human, environmental and social risk of these facilities. In this article, we present a risk analysis method that can provide quick and effective help for the evaluation of the reservoirs of mining waste management facilities from a disaster prevention point of view, for determining the risk, and for planning external and internal defenses in the event of a potential accident.

Keywords

mining waste management facility, reservoir, risk analysis method

Absztrakt

A bányászati hulladékkezelő létesítmények a legnagyobb mérnöki szerkezetek közé sorolhatók a világon. Súlyos baleseteik felhívják a figyelmet arra, hogy ezek a létesítmények a klímaváltozás, valamint szerkezeti elöregedésük révén potenciálisan egyre növekvő veszélyt hordoznak magukban. Emiatt a jelen kor mérnökei számára kiemelten fontos feladat ezen létesítmények humán, környezeti, valamint társadalmi kockázatának feltárása. Tanulmányunkban egy olyan kockázatelemzési módszert mutatunk be, mely gyors és hatékony segítséget nyújthat a bányászati hulladékkezelő létesítmények tározóinak katasztrófavédelmi szempontú értékeléséhez, a kockázat meghatározáshoz, illetve a külső és belső védekezés megtervezéséhez egy potenciálisan bekövetkező baleset esetén.

Kulcsszavak

bányászati hulladékkezelő létesítmény, tározó, kockázatelemzési módszer

¹ elek.barbara@bgk.uni-obuda.hu | ORCID: 0000-0001-7515-6374 | associate professor, Óbuda University, Donát Bánki Faculty of Mechanical and Safety Engineering, Institute of Safety Science and Cybersecurity | egyetemi docens Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Biztonságtudományi és Kibervédelmi Intézet

² bodnar.laszlo@uni-nke.hu | ORCID: 0000-0001-9196-8030 | assistant lecturer, University of Public Service, Department of Fire Protection Engineering | tanársegéd, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Tűzvédelmi Mérnöki Tanszék

³ kalman.eszter@ybl.uni-obuda.hu | ORCID: 0009-0003-5199-3751 | associate professor, Óbuda University, Ybl Miklós Faculty of Architecture and Civil Engineering, Department of Infrastructure Development, | egyetemi docens, Óbudai Egyetem, Ybl Miklós Építéstudományi Kar, Infrastruktúra-fejlesztési és üzemeltetési tanszék

BEVEZETÉS

A bányászati hulladékkezelő létesítmények (pl. zagytározók, meddőhányók) nagy mennyiségű hulladék befogadására kialakított depónia terek, amelyeket a feldolgozó létesítmény közelében alakítanak ki, megfelelő telepítési előírások alapján. A telepítési előírások mindig az adott korszak tudományos - technológiai szintjét, környezeti hatásokra vonatkozó ismereteit tükrözik. Emiatt egy több évtizede létesített tározó lehet, hogy az adott korban korszerűnek számított, de a jelenlegi mérnöki tapasztalatok, tervezési, valamint kivitelezési műszaki előírások alapján valószínűleg már korszerűtlennek minősülhet. Egy évtizedek óta üzemelő, illetve egy már felhagyott tározó elhelyezésének, kialakításának utólagos bírálatakor fontos ezt szem előtt tartani. Továbbá szem előtt kell tartani, hogy egy feltöltött tározó mai kor követelményeit kielégítő biztonsági szempontok szerinti átépítése igen nehezen kivitelezhető, rendkívül költséges folyamat lenne. Ugyanakkor a bányászati hulladékkezelő létesítmények tározói ásványvagyon gazdálkodási szempontból akár igen jelentős másodnyersanyag (pl. vas, titán, réz, ezüst, arany, szén stb.) források is lehetnek. A bányászati hulladékkezelő létesítmények a legnagyobb mérnöki szerkezetek közé sorolhatók a világon. Súlyos baleseteik azonban felhívják a figyelmet arra, hogy ezek a létesítmények a klímaváltozás, valamint szerkezeti elöregeedésük révén potenciálisan egyre növekvő veszélyt hordoznak magukban.

Munkánk során egy olyan új kockázatelemzési módszert alkalmaztunk, mely lehetővé teszi, hogy adott bányászati hulladékkezelő létesítmény tározójának kockázatát viszonylag rövid idő alatt hatékonyan meghatározzuk.

SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

Az elmúlt 50 esztendőben közel 60 db jelentős zagytározó baleset következett be világszerte [1]. 1990 óta a súlyos társadalmi és környezeti következményekkel járó balesetek száma növekvő tendenciát mutat [2]. A katasztrófák egyike volt a 2010. október 4-én hazánkban bekövetkezett vörösiszap katasztrófa. A WISE Uranium projekt [3] becslései szerint 1961 és 2019 között legalább 2375 ember vesztette életét a zagytározó katasztrófák következtében világszerte.

A zagytározók épsége a jó tervezéstől és helyes üzemeltetéstől kiemelkedő mértékben függ. Általános tapasztalat, hogy a legtöbb súlyos balesetet már az esemény bekövetkezése előtt hetekkel, napokkal arra utaló jelenségek előzik meg. Ezért a megfelelő üzemeltetésnek létfontosságú eleme kell hogy legyen egy hatékony monitoring rendszer [4].

A hazai helyzetet tekintve az Európai Bizottság már 2006/21/EK irányelvében (bányászati hulladék irányelv) [5] előírta a tagállamok részére azt, hogy nyilvántartásba kell venniük azokat a már bezárt és elhagyott bányászati hulladékkezelő létesítményeket, amelyek közép- és rövidtávon komoly humán, környezeti és társadalmi kockázatot jelentenek környezetükre.

Az EU MWD (Mine Waste Directive) munkacsoportja 2010-ben elkészített egy úgynevezett kockázat alapú előszűrés útmutatót [6]. A második lépésnek tekinthető kockázati rangsorolásra (szűrésre) nem készült egységes útmutató, így a rangsorolást az EU tagállamok saját hatáskörben végzik.

A bányafelügyeltől a Szabályozott Tevékenységek Felügyeleti Hatósága vette át a bezárt bányászati hulladékkezelő létesítmények nyilvántartásba vételének, a környezeti

kockázati kiértékelésének és a rangsorolásának feladatát 2022. január 31-től a bányászati hulladékok kezeléséről szóló 13/2022. (I. 28.) SZTFH rendelet [7] alapján. A rendelet értelmében „hulladékkezelő létesítmény: a szilárd vagy folyékony halmazállapotú, oldatban vagy szuszpenzióban lévő bányászati hulladéknak az a)-d) pontban meghatározott időtartamon túl történő gyűjtésére vagy elhelyezésére szolgáló, a bányafelügyelet által engedélyezett kijelölt terület. Ezek a létesítmények magukban foglalnak bármely gátat vagy egyéb, tárolásra, visszatartásra, elkülönítésre szolgáló, illetve a létesítményt egyéb módon szolgáló építményt, továbbá - bár nem kizárólagosan - a meddőhányókat és tározókat, de nem beleértve a bányatérsegeket, amelyekbe a hulladékot az ásvány kitermelését követően rehabilitációs és építési célból visszatöltik” [7].

Az Eötvös Lóránd Geofizikai Intézet (ELGI) elvégezte a bányászati hulladékkezelési irányelvnek megfelelő szűrést és 2020. évi jelentésében [8] részletesen bemutatta azt a két lépcsős vizsgálatot, mely a bezárt bányászati hulladékkezelő létesítmények tározójának kockázati besorolását tette lehetővé hazánkban. Az első lépcsőben az előszűrés (kockázati szűrés), a második lépcsőben a szűrés (kockázati rangsorolás) történt meg. A szűrés paraméterek alapján végzett rangsorolás a rekultivációs paraméterek, az objektum mérete és a térszín dőlése alapján végzett rangsorolást jelentette. A kockázati előszűrést 1046 létesítmény esetében végezték el. Az előszűrés eredményeként 170 létesítmény esetében találták úgy, hogy nincs szükség további vizsgálatra. 876 létesítmény esetén további vizsgálatok váltak szükségessé. A következő lépésben végzett szűrés (kockázati rangsorolás) eredményeként hazánk területén 4 db zagyatározó és 5 db érces meddőhányó esetén határoztak meg magas kockázatot [8].

Fenti kétlépcsős kockázat besorolási vizsgálat is azt mutatja, hogy még jelenleg is található hazánk területén környezeti és társadalmi kockázattal bíró bányászati hulladékkezelő létesítmények. A fennmaradó létesítmények esetében számos további rendelkezik közepes és alacsony kockázattal, tehát nem azonosítható kockázatmentes tározóként. Mindez arra hívja fel a figyelmet, hogy nem tétlenkedhetünk, mindent meg kell tennünk annak érdekében, hogy még egyszer ne történjen meg az ajkai vörösiszap tározó gátszakadásához hasonló katasztrófa.

MÓDSZERTAN

Tanulmányunkban egy hipotetikus bányászati hulladékkezelő létesítmény tározójának - esetünkben zagyatározó – kockázatelemzését végeztük el.

Kockázatelemzés lépései

- Az általunk alkalmazott kockázatelemzés lépései az alábbiak voltak:
- Első lépésben azonosítottuk azokat az ún. csúcseseményeket (főeseményeket), amelyek bekövetkezése súlyos balesetet válthat ki.
 - Következő lépésként hibafa-elemzéssel feltártuk az egyes csúcsesemények kialakulásához vezető okokat, közbülső és alapeseményeket, majd meghatároztuk a csúcsesemény bekövetkezési valószínűségét (gyakoriságát).
 - Harmadik lépésben árvízi következmény számítást végeztünk.
 - Utolsó lépésként az egyes csúcsesemények kockázatát kockázaterítékelési mátrix segítségével értékeltük. Ennek során a hibafa - elemzés, az árvízi következmény számítás eredményeit, továbbá a potenciális árvízi kármutatót vettük figyelembe.

Hibafa-elemzési módszer

A hibafa elemzés egy olyan minőségi elemző módszer, mely a csúcsesemény (főesemény) okait tárja fel. A hibafa eseményekből és olyan logikai kapukból épül fel, amelyek összekapcsolják az eseményeket annak érdekében, hogy a legfelső nemkívánatos csúcsesemény okai azonosíthatók legyenek. A hibafa egy felülről lefelé építkező fastruktúrájú gráf.

Li Xi-Ling et al. [9] 2001-ben, majd Shu Yongbao et al. [10] 2010-ben alkalmazta a hibafa elemzési módszert zagyatározók baleseteinek vizsgálatánál. 2004-ben Hartford és Baecher [11] gátak biztonsági kérdéseinek vizsgálata során végzett hibafa-elemzést.

Árvízi következmények számítása a súlyosság megítéléshez

A világban bekövetkező zagyatározó balesetek alapján könnyen belátható, hogy a legsúlyosabb környezeti és társadalmi következményei a későbbiekben részletesen vizsgált ún. „Gátsérülés” csúcseseménynek van. Ezért a gát részleges vagy teljes tönkremenetelből eredő árvízi következmények számítása, valamint az elárasztási térképek megszerkesztése rendkívül fontos lehet katasztrófavédelmi szempontból. A legkritikusabb esemény a gát valamely pontján teljes vagy részleges keresztmetszeti törés bekövetkezése, hiszen ekkor a gát mögött lévő folyékony, kvázi folyékony anyag a résen keresztül a gát alatti területeket (szabad térszín feletti területeket) elárasztja. Az árvízi következmények számítását, az elárasztási térképeket ezeknek az eseményeknek a modellezése alapján lehet elkészíteni. A számítási eredmények alapján megmondható, hogy mely területek kerülhetnek veszélybe, illetve hol kell a lakosság riasztására és mentésére kidolgozni a külső védelmi terveket.

A gátsérüléshez, mint csúcseseményhez kapcsolódó közvetett jelenségek közül csak néhány határozható meg mennyiségileg. A tározó gátszakadásának mennyiségileg meghatározható jellemzőit mutatja az 1. táblázat különböző szerzők munkái alapján.

Számítási jellemző	Megjegyzés	Szerzők
A gátszakadás folyamata		
1. gátszakadás nyílásszélessége		
$B_{avg} = 3 \cdot H_w$		U. S. Bureau of Reclamation [12]
2. az átszakadás eróziós törmelékmenyisége		
$V_{er} = 0,0348 \cdot (V_w \cdot H_w)^{0,852}$	beton-, kőgátnál	MacDonald és Langridge-Monopolis [13]
3. kiömlési csúcs hozam		
$Q_p = 0,607 \cdot (V_w^{0,295} \cdot H_w^{1,24})$		Froehlich [14]
4. az átszakadás időtartama	Q_p kialakulási ideje	
$t_f = 30 \text{ sec (0,5 min)} \dots 720 \text{ sec (12 min)}$; a konstrukció függvényében	beton-, kőgátnál	Environment Agency [15]
5. a tározó kiürülési időtartama		Environment Agency [15]
$t_e = 2 \cdot V_w / Q_p$		Environment Agency [15]
Alvízi jelenségek		
1. az alvízi elöntés vízmélysége		
$h = [Q_p / \{(1,49/n) \cdot (B) \cdot \sqrt{(S)}\}]^{0,6}$		FERC [16]

Számítási jellemző	Megjegyzés	Szerzők
$h = [Qp / \{1,49 \cdot (B)^*\} \cdot \sqrt{(S)}]^{0,6};$ $1/n = 1,0$		
2. az árvíz áramlási középsebessége		
$u = (1/n)^* \sqrt{(S)}^{*3} \sqrt{(B * d) / (B * 2 * d)}$ $u = \sqrt{(S)}^{*3} \sqrt{(B * d) / (B * 2 * d)}; 1/n = 1,0$		FERC [16]
3. az árhullám sebessége		
$c = (5/3) * u$; Kinematikus sebesség, $c > u$		FERC [16]
4. az alvizi adott pontjának árvízi elérési ideje		
$tt = X/c$		FERC [16]
5. árvízi életvesztés becslése		
$N = 0,5 * Npar$; $TA < 0,25$ h $N = (Npar)^{0,6}$; $0,25 < TA < 1,5$ h $N = 0,002 * Npar$; $TA > 1,5$ h $D = u * h$		Jonkman et al. [17]; RESCDAM [18], Reiter [19]

1.táblázat: A gátszakadás mennyiségileg meghatározható jellemzői különböző szerzők alapján (saját szerkesztés)

A táblázatban a különböző külföldi szerzők által megalkotott empirikus formulák szerepelnek. A számítások során alkalmazott jelölések a 2. táblázatban láthatók.

Változó	Mértékegység	Leírása
Bavg	m	A gátszakadás kifolyási szélessége. Itt ömlik ki a betározott anyag, folyadék
Ver	m ³	A kitört (errodált) és elsodort gátszakasz térfogata
Qp	m ³ /sec	A maximális- csúcs hozam, amely a szakadáson kiömlik
tf	sec	A szakadási folyamat kialakulási időtartama, amíg kialakul Qp
te	sec	A csúcs hozam utáni kiürülési (lecsengési) időtartam
Vw	m ³	A tározóban lévő folyadék térfogata
Hw	m	A tározó maximális gátmagassága
h	m	Az alvizi elöntés vízmélysége
B	m	Az alvizi elöntés „mederszélessége”
S	m/m	Az alvizi meder lejtése
u	m/s	Az árvíz áramlási középsebessége
n	sec/m ^{1/3}	Manning-féle érdességi tényező. Szakadásnál: $n \approx 0,1$; $1/n = 1,0$
c	m/m	Az árhullám kinematikus mozgási sebessége.

Változó	Mértékegység	Leírása
tt	óra	Az árhullám adott távolságú pontjának (X) elérési ideje
X	m	Távolság a gátszakadástól mérve
N	fő	Az árvíz okozta elhalálozások száma
N _{par}	fő	Az árvízzel szorosan érintett lakosok száma N _{par} <N _{település}
TA	óra	Az árvízi riasztás (az előrejelzés) ideje.
D	m ² /s	Árvízi kármutató (veszélymutató)

2.táblázat: A gátszakadás számításánál alkalmazott jelölések (saját szerkesztés)

Potenciális árvízi kármutató

A különböző szerzők nagyon sokféle árvízjelentési indikátort határoznak meg. Vizsgálataink során az adott csúcsesemény által okozott károk súlyosságának megítélése során a 3. táblázatban részletezett D potenciális árvízi kármutatót alkalmaztuk.

Érintettek	Potenciális árvízi kármutató [D= u*h (m ² /s)]		
	Alacsony	Közepes	Magas
Gyerekek	D<0,1	0,1<D<0,25	D>0,25
Felnőttek	D<0,3	0,3<D<0,7	D>0,7
Személygépkocsik	D<0,9	0,9<D<1,5	D>1,5
Könnyűszerkezetes épületek	D≤1,3	1,3<D<2,5	D>2,5
Szilárd építmények	D<3,0 (u>2,0 m/s)	3,0<D<7,0 (u>2,0 m/s)	D>7,0

3. táblázat: Potenciális árvízi kármutató[18],[19].

Kockázatértékelési mátrix

A bányászati hulladékkezelő létesítmények tározójának kockázatértékelését mátrix [20] segítségével végeztük el. A kockázatértékelési mátrix egy kvalitatív kockázatértékelési eszköz, melynek előnye, hogy a módszeres mérnöki munkát megfelelően támogatja.

Ennek érdekében a kockázatértékeléséhez egy olyan mátrixot (4. táblázat) alkalmaztunk, mely 1-től 5 –ig tartalmazza az esemény hatását jellemző súlyosság értékeket és szintén 1-től 5-ig tartalmazza a bekövetkezési valószínűséget jellemző értékeket.

Az elemzés során minden egyes súlyos, illetve kevésbé súlyos tározó balesetet kiváltó eseményhez hozzárendelhetünk egy súlyossági értéket (6. táblázat) és egy bekövetkezési valószínűség értéket (7. táblázat).

A mátrixban a kockázat értékét (nagyságrendjét) az aktuális súlyossági és bekövetkezési valószínűség értékek szorzata adja.

Például, ha egy súlyos hatással bíró esemény bekövetkezési gyakorisága valószínű, akkor a mátrix adott cellájának pontértéke 4×4 , azaz 16. A mátrix elemeinek pontértéke 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 15, 16, 20 és 25 lehet. A kockázati mátrix cellái a kockázat elfogadhatóságát mutatják.

Csúcsesemény be- következési valószí- nőség értéke	Súlyosság érték				
	1	2	3	4	5
5	(5) EE*	(10) NK	(15) NK	(20) NE	(25) NE
4	(4) EE	(8) EE	(12) NK	(16) NE	(20) NE
3	(3) E	(6) EE	(9) EE	(12) NK	(15) NK
2	(2) E	(4) EE	(6) EE	(8) EE	(10) NK
1	(1) E	(2) E	(3) E	(4) EE	(5) EE

4. táblázat: Tározó kockázatértékelési mátrixa [20]

*Kockázat mértékének, illetve elfogadhatóságának jelölése a táblázatban:

E: Elfogadható (zöld szín); EE: elfogadható ellenőrzéssel (sárga szín); NK: nem kívánatos (narancssárga szín); NE: nem fogadható el (piros szín).

Az alábbi 4. táblázat a kockázatértékelési mátrix által kapott kockázat elfogadhatóságát ismerteti, amely alapján javaslatot ad intézkedésekre is.

Kockázat		Javasolt intézkedések
értéke	elfogadhatósága	
1-3	elfogadható (E)	Nincs szükség intézkedésre.
4-9	elfogadható ellenőrzéssel (EE)	Nincs szükség újabb intézkedésre a folyamatos ellenőrzés mellett.
10-15	nem kívánatos (NK)	Sürgős intézkedés kell a kockázat csökkentésére.
16-25	nem fogadható el (NE)	A kockázatot azonnal meg kell szüntetni.

5. táblázat: Kockázat elfogadhatósága és javasolt intézkedések [20]

Az 6. táblázatban részletesen ismertetjük az esetlegesen bekövetkező súlyos esemény hatását jellemző súlyosság értékeket, illetve az azokat meghatározó jellemzőket (pl. személyi sérülés, anyagi veszteség, stb.).

Súlyosság értéke	Súlyossági szint	Hatás jellemzése			
		Személyi sérülés	Anyagi veszteség (Ft)	Állási idő	Környezeti hatás
1	Jelentéktelen	Nincs sérülés/betegség	< 1 millió Ft	< 1 nap	Nincs környezeti kár
2	Alacsony	Kisebb sérülés/betegség	1 – 50 millió	1 nap – 1 hét	Kisebb, visszafordítható és/vagy helyreállítható környezeti kár (<1 hónap)
3	Mérsékelt	Közepes sérülés/betegség	50 -250 millió	1 hét – 1 hónap	Rövidtávú környezeti hatások (1 hónap-1év)
4	Súlyos	Súlyos sérülés/betegség	250 millió – 1 milliárd	1 hónap – 1 év	Középtávú környezeti hatások (1–5 év)
5	Nagyon súlyos	Elhalálozás	1 milliárd <	1 év <	Hosszútávú környezeti hatások (5 év <)

6. táblázat: Súlyossági értékek és jellemzőik (saját szerkesztés)

A csúcsesemények bekövetkezési valószínűség értékét, leírását mutatja az alábbi 7. táblázat.

Bekövetkezési valószínűségi érték	Csúcsesemény bekövetkezési valószínűségének leírása	Valószínűség számított értéke
5	Nagy valószínűséggel bekövetkezik.	>0,5; 0,5-1,0
4	Valószínű, hogy bekövetkezik.	0,1-0,5
3	Mérsékeltlen valószínű a bekövetkezés.	0,001-0,1
2	Nagyon kicsi az esélye a bekövetkezésnek.	0,0001-0,001

Bekövetkezési valószínűségi érték	Csúcsesemény bekövetkezési valószínűségének leírása	Valószínűség számított értéke
1	Valószínűtlen. Szinte biztos, hogy nem következik be.	<0,0001

7. táblázat: A tározó bekövetkezési valószínűség értékei és jellemzésük (saját szerkesztés)

VIZSGÁLATI EREDMÉNYEK

A vizsgált zagytározó bemutatása

A vizsgált fiktív zagytározó egy közepesen lakott településtől nem messze, 2 km-es távolságra (település széle, ahol már lakóépületek találhatóak) helyezkedik el kisvízfolyás völgyében. A tározóban iszapot helyeztek el. A tározó nem rendelkezik aljzatszigetelő rendszerrel.

A tározó alapadatai az alábbiak:

- A tározótó alsó szintje az aktuális (közel sík) terepszinten található, ez a 0,00 szint.
- A tározó geometriai méretei:
tározó alapterülete: 450 m x 450 m = 202 500 m², azaz 20, 25 ha a töltet és a víz magassága: 18,0 m (3,0 m víz és 15,0 m iszap)
- A tározó geotechnikai adatai:
a gát anyaga: pernye (beton)/salak
a gát talpszélessége: 50 m
a gát magassága: 22 m
a gát koronaszélesség: 10 m
a gáttest keresztmetszete: 660 m²
- Környezeti adatok:
az érintett lakosság száma: 1 500 fő (kistelepülés)
előre láthatólag közvetlen hatással érintettek száma: 200 fő

Hibafa elemzés eredményei

A hibafa elemzést több lépésben végeztük el. Az első lépésben meghatároztuk azokat a Csúcseseményeket, melyek bekövetkezte már önmagában súlyos balesetnek tekinthetők. Ezek az alábbiak lehetnek a zagytározó esetében:

- 1. csúcsesemény: „Felszín alatti közegbe jut a csurgalékvíz”,
- 2. csúcsesemény: „Gát alatt jön ki az iszap”,
- 3. csúcsesemény: „Gát kontúrszivárgás”,
- 4. csúcsesemény: „Zagy anyaga a gát tetején átbukik”,
- 5. csúcsesemény: „Gátsérülés (részleges vagy teljes tönkremenetel)”,
- 6. csúcsesemény: „Zagytározó felszínérő porterjedés a környezetbe”.

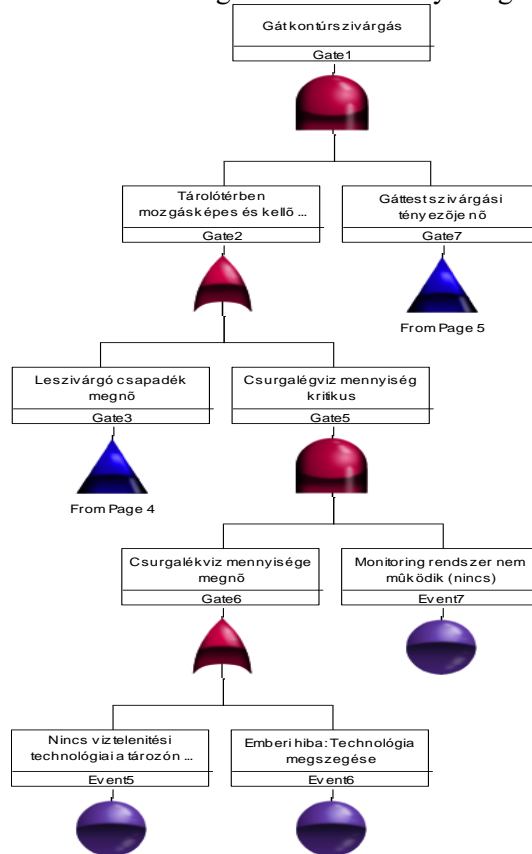
A vizsgált csúcsesemények esetében a hibafa elemzést Relax 7.7 programmal hajtottuk végre, meghatározva az adott csúcsesemény bekövetkezési valószínűségét.

Az alábbiakban részletesen bemutatjuk a „Gát kontúrszivárgás” csúcsesemény hibafa-elemzését. A hibafa elemzést valamennyi csúcsesemény estében elvégeztük.

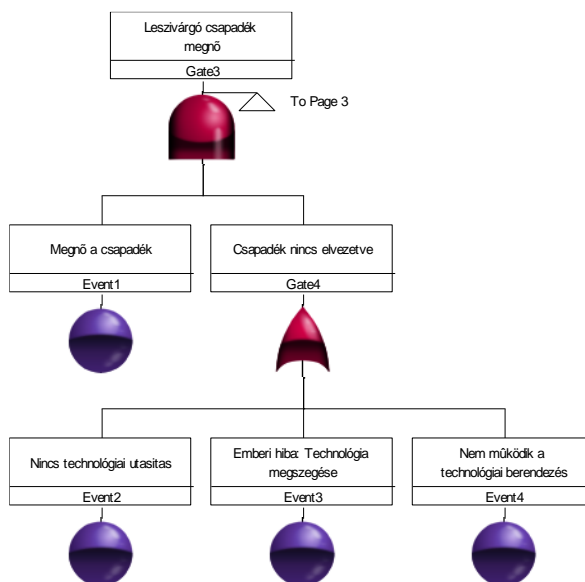
A „Gát kontúrszivárgás” csúcsesemény esetében a tározóteret körülvevő gáttest anyagán keresztül lép ki a tározóterben lévő folyékony vagy ahhoz hasonló tulajdonságú anyag. Az anyagkilépés a gáttesten keresztül a következő jelenségek hatására következik be:

- a tározóterben víz (csapadék- és konszolidációs víz) halmozódik fel;
- a tározóterben lévő folyadéktest nyomása megnő;
- külső dinamikus hatás (szél vagy földrengés) lép fel.

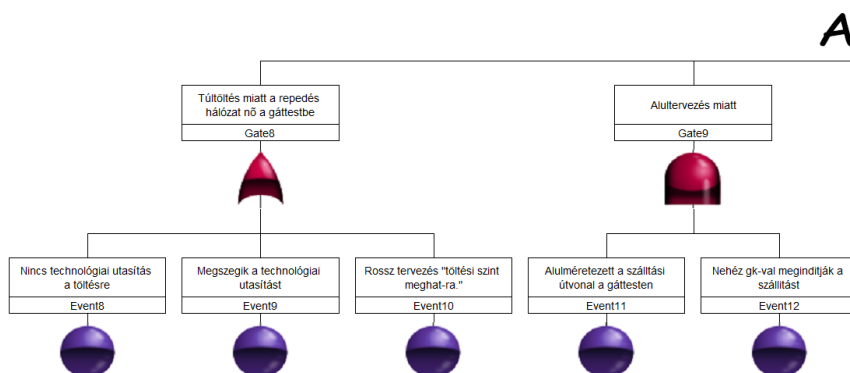
A hibafa-elemzés (1. -3. ábra) során meghatározásra került az összes olyan közbülső és alapesemény, amelyek önálló vagy együttes bekövetkezése „Gát kontúrszivárgás” csúcsesemény bekövetkezéséhez vezet. Az elemzés által egyértelművé vált, hogy az átszivárgást kiváltó jelenségek elsődlegesen emberi (tervezési-kivitelezési vagy technológia megszegési) hibára, valamint a technológiai előírások hiányosságára vezethetők vissza.



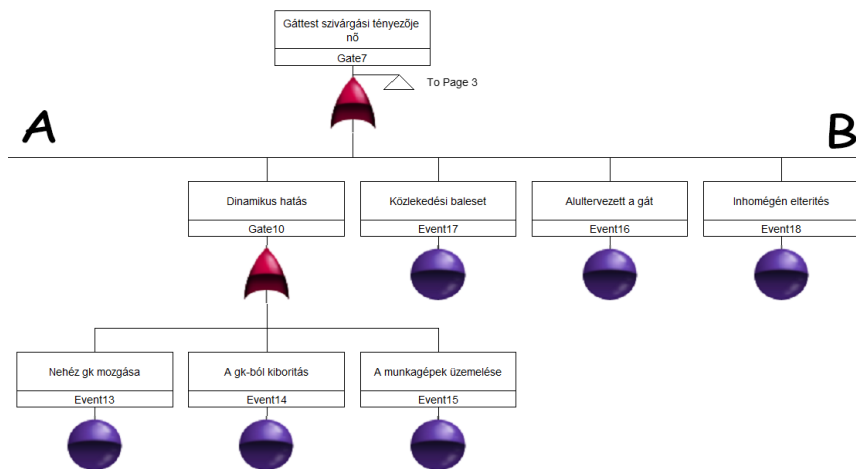
1.ábra: Hibafa elemzés „Gát kontúrszivárgás” csúcsesemény esetén, első rész (saját szerkesztés)



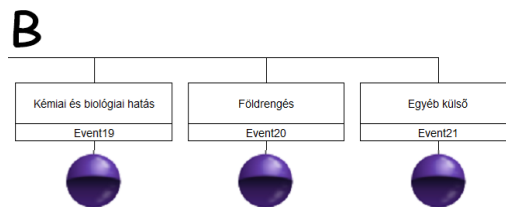
2.ábra: Hibafa elemzés „Gát kontúrszivárgás” csúcsesemény esetén, második rész (saját szerkesztés)



3.ábra: Hibafa elemzés „Gát kontúrszivárgás” csúcsesemény esetén, harmadik rész első része (saját szerkesztés)



4.ábra: Hibafa elemzés „Gát kontúrszivárgás” csúcsesemény esetén, harmadik rész második része (saját szerkesztés)



5.ábra: Hibafa elemzés „Gát kontúrszivárgás” csúcsesemény esetén, harmadik rész harmadik része (saját szerkesztés)

A hibafa elemzés eredményeként a „Gát kontúrszivárgás” csúcsesemény bekövetkezési valószínűsége 0,19 értéknek adódott, azaz a valószínű kategóriába tartozott.

Elemzésünk rávilágított arra, hogy a „Gát kontúrszivárgás” csúcsesemény elsősorban a pontos technológiai utasítások (Event3) be nem tartása, illetve a tervezési szakaszban különböző típusú terhelésekre alulméretezett gát tervezésére (Event1, Event2, Event11, Event16, Event18) vezethető vissza.

A hibafa elemzés eredményeként a „Gátsérülés (tönkremenetel)” csúcsesemény bekövetkezési valószínűsége 0,0063 értéknek adódott, tehát a mérsékelt valószínű kategóriába tartozott.

A gátsérülésből adódó árvízi következmények

A „Gátsérülés” csúcsesemény bekövetkezése esetén az 1. táblázat alapján elvégzett számításaink alapján elmondható, hogy a 2 km-re lévő települést az árvíz 1,32 óra alatt éri el. Az árvízi életvesztés becsült száma: maximum 24 fő. A potenciális árvízi kármutató (D) értéke 0,625 m²/s adódott számításaink eredményeként. A 3. táblázat alapján az árvízi elöntés által okozott károk minősítése: gépkocsikra, építményekre alacsony, felnőttekre közepes, míg a gyerekekre magas.

A „Gát kontúrszivárgás” csúcsesemény esetén nem kell számolni árvízi következményekkel. Elhalálozás nem várható, anyagi kár alacsony, leállási idő rövid, valamint környezeti károkozás még nincs.

Megállapítható az is, hogy a szimulációs modellezéshez képest ez az egyszerű számítási módszer viszonylag gyors, megfelelő pontosságú és költségkímélő megoldást adhat egy tározó katasztrófavédelmi szempontú biztonságossági elemzéséhez. Fontos szerepet tölthet be az balesetet megelőző intézkedések rendkívül gyors meghozatalában, illetve a polgári védelmi feladatok megszervezésben.

Kockázat megadása kockázatértékelési mátrix alapján

A kockázatértékelés mátrix alapján a tározó kockázatát az alábbiakban adhatjuk meg:

A „Gát kontúrszivárgás” csúcsesemény tekintetében a tározó kockázata elfogadható ellenőrzéssel (EE), mivel a súlyossági érték: 2 (elhalálozás nem várható, anyagi kár alacsony, leállási idő rövid, környezeti károkozás még nincs) és a bekövetkezési valószínűség értéke: 4 (bekövetkezési valószínűség számított értéke: 0,19, tehát valószínű az esemény bekövetkezése). Tehát ebben az esetben nincs szükség újabb intézkedésre (5. táblázat) a folyamatos ellenőrzés betartása mellett.

A „Gátsérülés” csúcsesemény vonatkozásában a tározó kockázata nem kívánatos (NK), mivel a súlyossági érték: 5 (elhalálozás maximálisan 24 fő, ha 54 m hosszon átszakad a gát) és a bekövetkezési valószínűség értéke: 3 (bekövetkezési valószínűség számított értéke: 0,0063, tehát mérsékelten valószínű az esemény bekövetkezése). Az 5. táblázat értelmében sürgős intézkedés javasolt a kockázat csökkentésére.

A konzervatív megközelítés elvét alkalmazva, a tározó kockázatát adja a „Gátsérülés” csúcsesemény mint legsúlyosabb baleset, mivel ehhez kapcsolódik a legtragikusabb következmény (maximálisan 24 fő elhalálozása), így a tározó kockázata összességében egyértelműen a nem kívánatos (NK) kategóriába sorolható.

KÖVETKEZETÉSEK, JAVASLATOK

A zagytározó kockázatelemzésének eredménye alapján elmondható, hogy a kockázatsökkentésre szükség van, mely alapvetően két területre összpontosítva lehetséges:

- az események bekövetkezési valószínűségének csökkentésével,
- illetve a következmények súlyosságának mérséklésével.

A „Gát kontúrszivárgás” és a „Gátsérülés” csúcseseményeket, mint lehetséges tározó baleseteket figyelembe véve az alábbi kockázatsökkentő megoldások bevezetését javasoljuk.

A csúcsesemények bekövetkezési valószínűsége csökkenthető rendszeres ellenőrzések bevezetésével, amelyek egyrészt a töltet lerakására (a technológiai utasításban foglaltak ne kerüljenek megszegésre), másrészt a csapadékvíz elvezetésére vonatkoznak (műszaki és humán feltételrendszer folyamatos ellenőrzése). Harmadrészt célirányosan a gátszerkezeti változások, illetve az azokat előidéző okok - vizsgálatára (pl. rezgésellenőrzés, geodéziai ellenőrzés, vízszivárgások mértékének ellenőrzése, inklinométeres mérések végrehajtása, stb.) terjednek ki.

Ezek a különböző kockázatsökkentő intézkedések nem csak a zagytározók, hanem katasztrófavédelmi szempontból kiemelt fontosságú egyéb épületek és létesítmények esetében is igen nagy jelentőséggel bírnak [21], [22].

ÖSSZEFOGLALÁS

Tanulmányunkban egy olyan kockázatelemzési módszert mutattunk be, mely gyors és hatékony segítséget nyújthat a bányászati hulladékkezelő létesítmények tározóinak katasztrófavédelmi szempontú értékeléséhez, a kockázat meghatározáshoz, illetve a külső és belső védekezés megtervezéséhez egy potenciálisan bekövetkező baleset esetén.

Az általunk alkalmazott kockázatelemzési módszer során számításokat, vizsgálatokat végeztük el, mely során:

- Azonosítottuk azokat az ún. csúcseseményeket (főeseményeket), amelyek bekövetkezése súlyos balesetet válthat ki.
- Hibafa-elemzéssel feltártuk az egyes csúcsesemények kialakulásához vezető okokat, közbülső és alapeseményeket, majd meghatároztuk a csúcsesemény bekövetkezési valószínűségét (gyakoriságát).
- Elvégeztük az árvízi következmény számítást, meghatároztuk a potenciális árvízi kármutató értékét.
- Értékeljük az egyes csúcsesemények kockázatát kockázatértékelési mátrix segítségével. A konzervatív megközelítés elvét szem előtt tartva meghatároztuk a zagytározó kockázatát környezetére nézve.

Ezt követően olyan kockázatsökkentő javaslatokat fogalmaztunk meg, mely által csökkenthető a veszély, amelyet a tározó jelent mesterséges és természetes környezetére.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] R. Liu, J. Liu, Z. Zhang, A. Borthwick, K. Zhang *Accidental water pollution risk analysis of mine tailings ponds in Guanting reservoir Watershed, Zhangjiakou city, China* Int. J. Environ. Res. Public Health, 2015, pp. 15269-15284.
- [2] L.N. Bowker, D.M. Chambers. *The risk, public liability, and economics of tailings storage facility failures*. The Public Interest: Stonington, Maine, Bowker Associates Science and Research, 2015. Available at: <https://files.dnr.state.mn.us/input/environmentalreview/polymet/request/exhibit3.pdf>, Accessed: 18th May 2023.
- [3] World Information Service on Energy, *WISE-Uranium Project, Chronology of Major Tailings Dam Failures.*, 2019. Available: <https://www.wise-uranium.org/mdaf.html>, Accessed: 4th May 2023.
- [4] Martin, T.E., Davies, M.P., *Trends in the stewardship of tailings dams*. In: Proceedings of Tailings and Mine Waste'00, Fort Collins, January, Balkema Publishers, 2000, pp. 393–407.
- [5] 2006/21/EK irányelv (bányászati hulladék irányelv)
- [6] Stanley, G., Jordán, Gy., Hámor T., Sponar M. *Útmutató a „Bezárt bányászati hulladékkezelő létesítmények felmérésének kockázat alapú előminősítési rendszeréhez a 2006/21/EK Irányelv 20-as cikke alapján*, Kézirat, 2011. MBFH Adattár
- [7] 13/2022. (I. 28.) SZTFH rendelet a bányászati hulladékok kezeléséről
- [8] Kiss, J., Jordán, Gy. (szerk.), *Bezárt bányászati hulladékkezelő létesítmények nyilvántartása és kockázati besorolása*. Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat, 2020. Elérhető: https://mbfsz.gov.hu/sites/default/files/file/2020/03/03/mwf2012_1.pdf, Letöltve: 2023. május 12.

- [9] Xi-bing, L., Wei-dong, J. and Fu-jun, Z., *Fault tree analysis of tailings dam break during flood season. Journal of Safety and Environment.* 2001, 1 (5) pp. 45-48.
- [10] Shu Yongbao, Li Zhongxue. *Fault tree analysis of tailings dam break. Journal of Safety and Environment.* Gold, 2010, 31 (6). pp. 54-56.
- [11] Hartford, D. and Baecher, G. B. *Risk and uncertainty in dam safety.* Thomas Telford Ltd., London. 2004.
- [12] U. S. Bureau of Reclamation. *Downstream hazard classification guidelines.* ACER technical memorandum No. 11. Assistant commissioner - engineering and research. Denver, Colorado. 1988.
- [13] MacDonald, T.C. and Langridge- Monopolis, J. *Breaching Characteristics of Dam Failures.* Journal of Hydraulic Engineering, 1984, Vol. 110, No. 5., p. 567-586.
- [14] Froehlich, D. C. *Embankment Dam Breach Parameters Revisited.* Water Resources Engineering, Proceedings of the 1995 ASCE Conference on Water Resources Engineering, San Antonio, Texas, August 14-18, 1995, pp. 887-891.
- [15] Environment Agency. *Reservoir Flood Maps (RFM) Guide.* Explanatory Note on Reservoir Flood Maps for Local Resilience Forums – Version 3 – November 2014.
- [16] FERC (*Federal Energy Regulatory Commission*) Engineering Guidelines for the Evaluation of Hydropower Projects, Chapter 2. *Selecting and Accommodating Inflow Design Floods for Dams.* Federal Energy Regulatory Commission. 1993.
- [17] Jonkman, S. N., Vrijling, J. K. and Vrouwenvelder, A. *Methods for the estimation of loss of life due to floods: a literature review and a proposal for a new method.* Natural Hazards, 2008. 46. pp. 353–389.
- [18] RESCDAM. *The Use of Physical Models in Dam-Break Flood Analysis: Rescue Actions Based on Dam-Break Flood Analysis;* Final Report of Helsinki University of Technology; Helsinki University of Technology: Helsinki, Finland, 2000.
- [19] Reiter, P. *International methods of risk analysis, Damage evaluation and social impact studies concerning Dam-break accidents.* EU-Project RESCDAM. PR Water Consulting Helsinki. 2000.
- [20] Elek, B. és Kovács, G.: *Ipari tározók a katasztrófavédelmi szempontú vizsgálata.* In: Restás Ágoston, Urbán Anett (szerk.) Tűzoltó Szakmai nap, Budapest. BM OKF kiadvány, 2016. pp. 82-92.
- [21] Ambrusz, J. és Érces, G. *Természeti csapásoknak ellenálló épületek.* In: Bodnár, László; Heizler, György (szerk.) Konferenciakiadvány: Természeti Katasztrófák Csökkentésének Világnapja Nemzetközi Tudományos Konferencia. Budapest, Magyarország: Rádiós Segélyhívó és Infokommunikációs Országos Egyesület, 2021. 369 p. pp. 208-214.
- [22] Komlai, K., Restás, Á., Kerekes, Zs. *Fire resistance thermodynamic test of self-supporting double skin metal faced sandwich panels.* In: Bodnár, László; Heizler, György (szerk.) Book of abstracts : Fire Engineering & Disaster Management Prerecorded International Scientific Conference. Budapest, Magyarország, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, 2021. 119 p. pp. 44-45.