

Daruka Norbert¹ – Bunyitai Ákos²

A ROBBANÓANYAGGAL ELKÖVETETT TÁMADÁSOKNAK AZ EMBERI SZERVEZETRE, A TÁRGYAKRA, ÉPÍTETT ÉS TERMÉSZETI KÖRNYEZETRE GYAKOROLT HATÁSAI

EFFECTS OF EXPLOSIVE ATTACKS ON PEOPLE,
PROPERTY, THE BUILT AND NATURAL ENVIRONMENT

[HTTPS://DOI.ORG/10.30583/2023-3-4-131](https://doi.org/10.30583/2023-3-4-131)

Összefoglalás

Napjaink egyik legnagyobb kihívásai közé tartoznak a robbantással elkövetett támadások. Nem tudjuk, hogy hol, mikor és gyakran azt sem, miért következik be egy-egy nagy áldozatokat követelő és hatalmas anyagi veszteséget okozó támadás. Ezeknek a robbantásos támadásoknak az emberi szervezetre és az épített környezetre gyakorolt hatásai a legborzasztóbbak. Tanulmányunkban összegyűjtöttük azokat a legfontosabbnak tartott tényezőket, amelyek az emberre, illetve a természetes és mesterséges környezetre vannak hatással egy véletlen vagy tervezett robbanás következtében.

Kulcsszavak: robbantás, merénylet, természeti hatások, mesterséges hatások

Absztrakt

One kind of today's biggest challenges are blast attacks. We do not know where, when or often even why an attack occurs, resulting in high number of casualties and huge financial losses. The effects of blast attacks on human health and the built environment are most horrific. In our study, we have collected what we consider to be the most important

¹ A katonai műszaki tudományok PhD. fokozatos, Robbanóanyag-ipar szakmérnök; E-mail: daruka.norbi@gmail.com; ORCID: 0000-0002-7102-1787.

² Okleveles biztonságtechnikai mérnök, Robbantástechnikai szakmérnök. E-mail: bunyitai.akos@gmail.com; ORCID: 0000-0001-8190-7488.

factors that affect humans and the natural and built environment as a result of an accidental or planned explosion.

Keywords: bombing, assassination, natural effects, artificial effects

Bevezetés

A robbanóanyagok bűnös célú alkalmazása nem egy újkeletű dolog, hiszen már a XVII. században is voltak kísérletek a kor színvonalának megfelelő robbanóanyag terror jellegű felhasználására. Az első ilyen kísérlet egy angol katona, Guy Fawkes nevéhez fűződik, aki fanatikus vallási meggyőződésből úgy tervezte – több társával együtt –, hogy meggyilkolja I. Jakab királyt³. Céljuk egy katolikus uralkodó trónra lépésének elősegítése volt, hogy Anglia ismét katolikus ország legyen. A fanatikus nézeteket mutató csoport a Lordok Házának⁴ felrobbantásával – 36 hordó puska por tüzifa alá rejtve az említett létesítmény pincéjében – kívánta érvényesíteni nézeteit. A Parlament megnyitásának időpontjára (1605. november 5.)⁵ tervezett merénylet részleteiről túl sokan tudtak, és még a megnyitó előtt elfogták a merénylőket. Ezt a sikertelen kísérletet azért tartottuk fontosnak bemutatni, mert hamarabb próbálták meg a puska port bűnös szándékkal felhasználni, mint azt az emberiség szolgálatába állítani.

A puska port ugyanis 1622-ben kezdték csak el alkalmazni útépitésnél, mint sziklatömb-daraboló robbanóanyagot. Selmecebányán pedig 1627. február 08-án az ércbánya tárójában kezdték meg a lőport tudatosan felhasználni.⁶

A történelem különböző időszakait megvizsgálva azt láthatjuk, hogy a terror robbantások fejlődéstörténete jól elkülöníthető időszakokra tagolható. A terrorcélú robbantások előtörténeteként tekinthetünk a

³ James Charles Stuart néven született (1566. június 19.) a későbbi uralkodó. Skócia királya volt VI. Jakab néven 1567. július 24-től, valamint I. Jakab néven Anglia és Írország királya a skót és az angol korona 1603. március 24-i egyesülésétől egészen az 1625. március 27-én bekövetkezett haláláig.

⁴ Az Egyesült Királyság parlamentjének felsőháza.

⁵ A *Guy Fawkes Night*, más néven *Fireworks Night* egy évenkénti megemlékezés, amelyet november 5-én tartanak Nagy-Britanniában, máglyagyújtással és tűzijátékokkal. Ez lett a hivatalos hálánap, amely a fenti cselekmény kudarcából fakad és a törvények betartására ösztönöz.

⁶ LUKÁCS 2017: 30.

robbantások kezdetétől a francia forradalomig⁷ terjedő időszakra, ahol az emberek közötti egyenlőtlenség volt a fő motiváló tényező.

A robbantások történetében a következő időszak már az első világháború kezdetéig datálható, ahol az állam és a társadalmi érdekek éles elkülönülése volt a cselekmények mozgató rugója. A következő időszak, amely a legszörnyűbb eseményeket öleli fel, a világháborúk kora. Különösnek tekinthető, hogy a terrorrobbantások szemszögéből ez nem számít kivételes időszagnak. Mindez talán annak köszönhető, hogy a különböző állami érdekek szembenállása volt a feszültség forrása. Fontos megjegyezni, hogy az 1970-es évek elejéig a robbantásos cselekmények inkább csak értékekre, tárgyakra, többnyire építményekre irányultak. A bűnös szándékú elkövetők lehetőséget láttak az ipari társadalmak vonzó és sebezhető célpontjaiban (repülőgépekben, bankokban és erőművekben).⁸

A modern terrorizmus korában – körülbelül a '80-as évek kezdetén – más célpontok kerültek a terroristák látókörébe. A cél a minél erőszakosabb és rémületet keltő akciók kivitelezése, amelynek célpontjai többnyire közéleti személyek, embercsoportok voltak. A technológia fejlődésével és gyors térnyerésével szinte egyidőben jelent meg a bérterrorizmus jelensége is. A feltételezhetően az egyes államok által támogatott és irányított terrorszervezetek jelenlétére mondható, hogy „elfogadottá” vált. Minél magasabb szinten realizálódtak a technológiai megoldások az egész világot behálózó informatikai és híradó rendszerek segítségével, annál kifinomultabb és sajnos egyre kegyetlenebb robbantásos támadások szemtanúi lehetünk. Gondoljunk csak a madridi (2004) vagy a londoni (2005) terrorrobbantásokra, de ezt még hosszasan sorolhatnánk.⁹

A fentiek okán – meglátásunk szerint – napjainkban egyre fokozódik a kritikus infrastruktúrák, védett vagy kiemelt létesítmények megfelelően hatékony védelmének jelentősége.

⁷ Európa történetének meghatározó eseménysorozata volt a 18. század végén. Annak ellenére, hogy sok tekintetben korábban elkezdődött (1789. május 5.), a kezdődátumnak általánosan 1789. július 14-ét tekintjük, amikor a feldühödött párizsiak elfoglalták a Bastille börtönét.

⁸ DARUKA 2010: 230.

⁹ DARUKA 2012: 33.

A robbantásos támadások hatásai

A kritikus infrastruktúrák, védett vagy kiemelt létesítmények védelmi lehetőségeinek meghatározásához elengedhetetlen meghatározni, hogy milyen típusúak, illetve mértékűek azok a robbanóanyag felrobbantásával járó hatások, melytől a megfelelő védelemi eszközökkel megóvható, illetve fenntartható az a funkció, amelyet a létesítmény és az azt üzemeltető személyzet hivatott szolgálni.¹⁰

Mindenekelőtt tisztáznunk kell a legfontosabb, a témához kapcsolódó alapfogalmakat. Az olyan gyakorlatilag hasznosítható vegyületeket (elegyek, olvadékok), amelyek a megfelelő kezdőgyújtás hatására bekövetkező önfenntartó kémiai átalakulás során, hirtelen (százezred másodperc) magas hőmérsékletű és igen nagy nyomású, főleg gáztermékekkel alakulnak át, melyek kiterjedésük közben rendkívül nagy teljesítményű munkát végeznek és környezeti hatást váltanak ki, robbanóanyagoknak nevezzük.¹¹

A robbanóanyagokkal elkövetett támadások hatásainak vizsgálatához át kell tekintenünk a robbanóanyagok kémiai átalakulásának fő formáit. Az áttekintést a kémiai átalakulás jellege és terjedési sebessége alapján a következőképpen csoportosíthatjuk:

- lassú kémiai átalakulás;
- égés ($0,001 \text{ m/s} < v < 100 \text{ m/s}$);
- deflagráció: nagysebességű, hangsebesség alatti ($v < 350 \text{ m/s}$)¹² égés, amely átmenetet képez az égés és a robbanás között;
- robbanás ($350 \text{ m/s} < v < 4000 \text{ m/s}$);
- detonáció ($v > 1500 \text{ m/s}$).

„A robbanóanyag kémiai robbanása detonációval azonos a detonáció nélküli robbanás folyamatával, azzal a különbséggel, hogy az energia átadása nyomáshullámfronton (detonációs hullámfronton) keresztül történik.”¹³

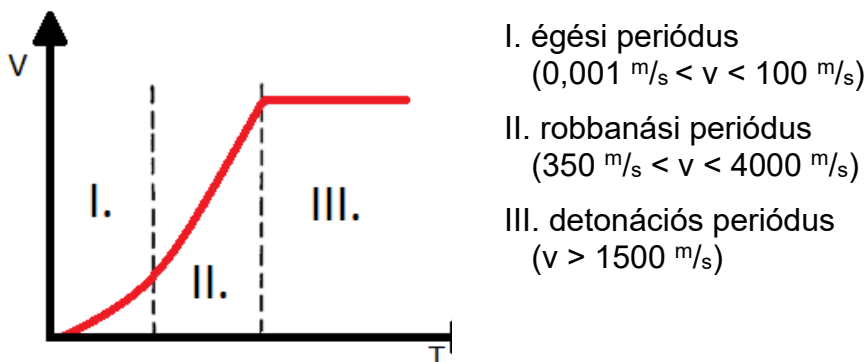
¹⁰ BUNYITAI 2023: 16.

¹¹ LUKÁCS 1997: 28.

¹² Tűzvédelmi Műszaki Irányelv – TvMI 13.3:2022.06.13., 2.2.1. alpont szerint, ha fokozottan tűz- vagy robbanásveszélyes anyagokról beszélünk, akkor a detonáció, mint fogalom, nem más, mint „A lángfront terjedési sebessége nagyobb, mint 340 m/s .”

¹³ FÖLDESI 1988: 15.

Az alábbi ábrán egy gyorsuló robbanási folyamat jellemző szakaszait bemutató, idő-sebesség grafikon látható:



1. számú ábra. Gyorsuló robbanási folyamat¹⁴

A robbanás alatt a robbanóanyag külső energia közlésére (más néven iniciálásra) elinduló és a másodperc törtrésze alatt végbemenő, az anyagi rendszer szétbomlásával járó, önmagától tovaterjedő kémiai átalakulást értjük, amely során nagy mennyiségű energia szabadul fel, hő és gáz/gőz képződik.¹⁵ Hatását a reakció sebessége, a fejlődő gáz/gőz mennyisége és a keletkező hő nagysága szabja meg.

A robbanás a robbanóanyag körül elhelyezkedő közegben (jellemzően levegő vagy víz) nagy sebességű, szférikus terjedésű lökéshullámot indít el. A lökéshullám mögött vákuum keletkezik, amely a környezetre szívóhatást fejt ki. A fentiekben részletezettek alapján kijelenthető, hogy a robbanás során, rövid idő alatt nagy energia szabadul fel, amely az élőlényekben és élettelen tárgyokban – a természeti és épített környezetben – egyaránt jelentős rombolást képes okozni.¹⁶

A robbanás emberi szervezetre gyakorolt hatása

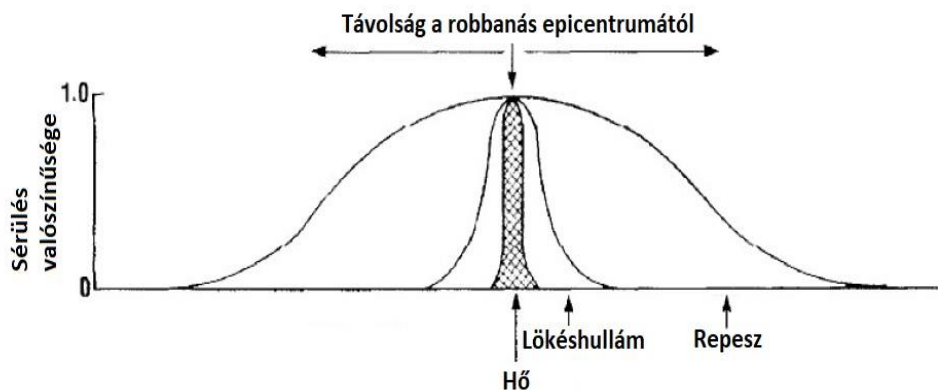
A robbanóanyag fajtája, mennyisége, burkolata, elhelyezkedése stb., valamint a személy tömege, orientációja révén személyi sérülést okozhat a hő, a lökéshullámból eredő nagy nyomás, az elsődleges, valamint a másodlagos repeszek.¹⁷ A sérülési típusokat és az okozott sérülés valószínűségét Zajtchuk szemléletesen ábrázolta.

¹⁴ FÖLDESI 1988: I. 2.2. ábra alapján szerkesztették a szerzők.

¹⁵ Nem szabad összetéveszteni a térrobbanással, amely olyan kémiai robbanás, amelyben a résztvevő anyagoknak legalább az egyike gáz halmazállapotú, tehát éghető anyagnak robbanásszerűen gyors oxidációja oxidáló hatású gázban vagy gőzben.

¹⁶ BUNYITAI 2023: 17.

¹⁷ ZAJTCHUK 2010: 224.



2. számú ábra. Sérülési típusok valószínűsége a távolság függvényében¹⁸

A továbbiakban a robbanásból eredő, az emberi szervezetre jelentős sérülésveszélyt jelentő hatásokat mutatjuk be a robbanás epicentrumától kifelé haladva.¹⁹ „A robbanás következtében kialakuló és az emberi szervezetet károsan érintő hatások között szerepel a robbanás okozta túlnyomás, a gyorsulás és a lassulás, a repeszhatás, a közvetlen tűz- és hőhatás, a fényhatás, a hanghatás, a szeizmikus hatás, a mérgező gázok és a szálló por által okozott terhelések.

Az említett káros hatásokat a robbanóanyagok tulajdonságai és a robbanóanyagokat tartalmazó testek, burkolatok jellegzeteségei alapvetően és nagy mértékben befolyásolhatják.”²⁰

Ahogy az illusztráció is szemlélteti, a robbanás közvetlen közelében a sérülések szempontjából jelentős hőhatás, lökéshullám és repeszhatás egyszerre jelenik meg. Ezek közül a hőhatás okozta sérülés valószínűsége a robbanás tekintetében közeliként értelmezhető, a lökéshullám közepes, a repeszhatás pedig a távoli zónákra jellemző.²¹

Hőhatás

A robbanás folyamata egy exoterm, vagyis hőfelszabadulással járó kémiai reakció. A robbanáskor felszabaduló hőenergia emberi szervezetre gyakorolt hatásáról leginkább akkor beszélhetünk, ha elmarad az elsődleges robbanásos sérülés, a légnyomás hatása elenyésző.

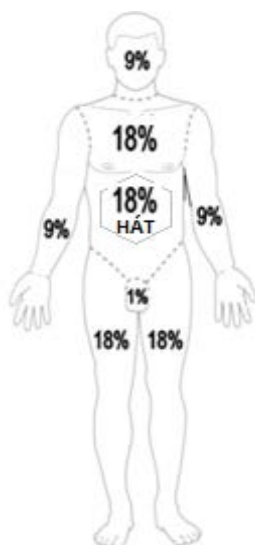
¹⁸ ZAJTCHUK 2010. ábrája alapján szerkesztette Bunyitai Ákos.

¹⁹ A robbanóanyagok mérgező hatásával ebben a tekintetben nem foglalkozunk.

²⁰ DARUKA 2021: 70.

²¹ BUNYITAI 2023: 18.

Ez elsősorban az alacsony detonációs sebességű ($V_{\text{detonáció}} \leq 2000 \text{ m/s}$) robbanóanyagok robbanása esetén állhat fenn, ekkor főként égési sérülések jelentkeznek.²²



Kilences szabály: égési sérülés mértékének meghatározására

Az arc/fej, kezek, lábak, ízületek és nemi szervek égési sérülése különösen komoly.

A szabály értelmében egy felnőtt feje, a bal és jobbkar egyenként kb. 9%-ot, a törzs eleje és háta, a bal és jobb láb egyenként 18%-ot tesz ki. Az anális-genitális rész kb. 1%-ot jelent. Az égések összege megadja a százalékos értéket.

Megjegyzés: Ha az égések különböző helyeken és szabálytalanul jönnek létre, akkor a tenyér és kézfejek mértéke 1%-nak számítható.

3. számú ábra. Égési sérülések osztályozása²³

A magasabb detonációsebességű robbanóanyagok robbanása esetén a reakciósebesség olyan nagy és olyan intenzív, hogy megbontja a szövetszerkezetet. Zajtchuk ábrája alapján elmondható, hogy a robbanás epicentrumától távolodva csökken az emberi szervezetre gyakorolt hőhatás okozta sérülés valószínűsége.

Túlnyomás, gyorsulás és lassulás

A robbanás hatására keletkező túlnyomás a lökéshullám kialakulásának pozitív fázisú időszakában (lásd 4. ábra) károsítja a szervezet levegővel telített részeit, tüdőt, beleket és a fülek belső részeit is.²⁴ „A robbanóanyagok detonációja hatására hirtelen nyomásugrás keletkezik.”²⁵

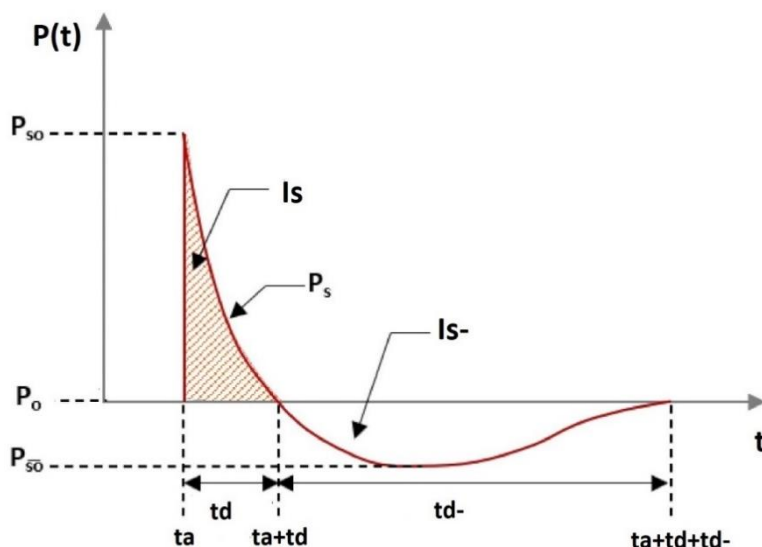
A robbanás során fellépő nyomásváltozás az idő függvényében a kutatások szerint az alábbi karakterisztikával jellemezhető.

²² HERNÁD 2013: 99.

²³ CLS – Combat Lifesaver – Harctéri életmentő tananyag alapján szerkesztve.

²⁴ DARUKA 2021: 69.

²⁵ KIS 2006: 74.



4. számú ábra. Robbanás idő-nyomás függvény grafikonja²⁶

ahol

P_0 : környezeti (légköri) nyomás (kPa);

P_{s0} : beérkező túlnyomás (kPa);

P_{s0-} : negatív túlnyomás (kPa);

I_s : beérkező nyomáshullám impulzusa ($\text{kPa}\cdot\text{ms kg}^{-1/3}$);

P_s : robbanási nyomás (kPa);

I_{s-} : negatív fázis impulzusa ($\text{kPa}\cdot\text{ms kg}^{-1/3}$);

t_a : a robbanás kezdeti idejétől a beérkező nyomásig eltelt idő (s);

t_d : pozitív nyomású fázis ideje (s);

t_{d-} : negatív nyomású fázis ideje (s).

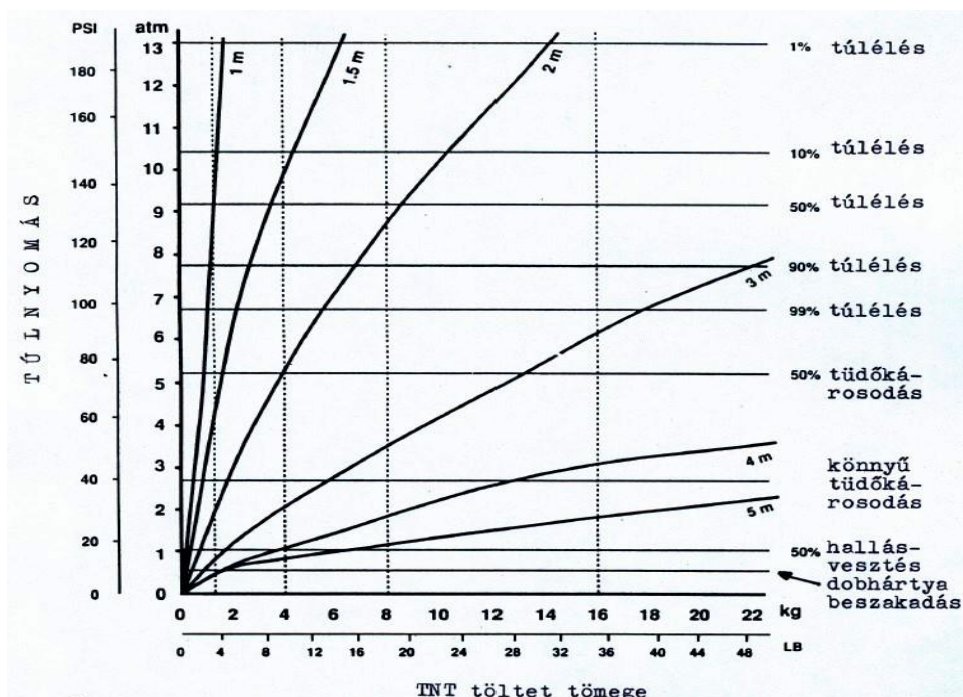
A grafikonon leolvasható, hogy a robbanást követően a kezdeti, környezeti nyomás a robbanás epicentrumához közel impulzusszerű, meredeken felfutó élű túlnyomásként (P_{s0}) jelentkezik, amely az idő múlásával (t_a+t_d időpillanatban) negatív, vagyis szívóhatásba (P_{s0-}) fordul át.

„A nyomáshullám áthalad a testen, az egyes szervekben előforduló levegőt összenyomja, ezáltal károsítja a határoló közegeket, mint a bélfal, tüdő léghólyagok fala vagy a dobhártya, azokon bevérzés, sérülés keletkezik, gyakran át is szakadnak.”²⁷

²⁶ DARUKA 2021: 69. 7. ábra alapján szerkesztette BUNYITAI Ákos.

²⁷ HERNÁD 2013: 100.

Az előzőekben ismertetett tények alapján különösen fontos a biztonsági távolságok pontos és precíz meghatározása. Egy 1988-ban a Kanadai Királyi Lovasrendőrség (RCMP) által végrehajtott tesztorozat az egészségkárosodás bekövetkezésének valószínűségi értékeit próbálta meg grafikusán megjeleníteni. A következő ábra ezt a grafikus eredménykimutatást foglalja össze:



5. számú ábra. Túlnyomás okozta egészségkárosodás bekövetkezésének valószínűsége 1,5 ms pozitív fázis esetén²⁸

A grafikon értékei védőruha nélkül, nyílt területen elhelyezkedő személyek esetén mértékadóak, és nem használhatóak zárt térben tervezett robbantások kiinduló adataiként.²⁹

A lökéshullám okozta túlnyomás egészségkárosító hatását nagy mértékben befolyásolja a robbanástól való távolság, illetve a robbanás során keletkező maximális nyomásérték, vagyis a csúcnyomásból eredő nyomásgörbe meredeksége és természetesen a pozitív fázis időtartama.

²⁸ SUSÁNSZKY 1993: 8.

²⁹ SUSÁNSZKY 1993: 9.

A nyomásértékeket befolyásolhatják környezeti hatások, melyek sok esetben csökkenthetik, de növelhetik is a túlnyomás okozta károsodás mértékét. Ilyen hatások például a szél és annak mozgási iránya, a levegő hőmérséklete és a páratartalma.³⁰

Természetesen a természetes és a mesterséges tereptárgyak is hatással vannak a túlnyomás okozta sérülések kialakulására, ezt a domborzat és a növényzet sűrűsége, illetve a terület beépítettsége befolyásolja.

A lökéshullám következtében a szervezetre nem csak a nyomás-emelkedés hat, hanem az emberi test és vele együtt a szervek is ki vannak téve a gyorsulás hatásának, amikor a lökéshullám elrepíti. Ugyan ez a folyamat alakul ki akkor is, amikor egy nagyobb méretű és sebességű tárgy, esetünkben „repsz” találkozik az emberi testtel és az energiájának egy részét átadva felgyorsítja vagy megüti azt. Ezt a jelenséget, negatív hatást és az általa bekövetkező károsodás mértékét szinte lehetetlen megbecsülni is, hiszen befolyásoló tényező a tárgy alakja, sebessége, mozgási, forgási paraméterei és az emberi oldalról a méretek, a test vagy szervek aktuális pozíciója is. Nem szabad elfeledkezni a külső tényezőkről sem, melyek szintén befolyással lehetnek a test vagy szervek felgyorsulására. Ilyen lehet a ruházat és a természetes vagy mesterséges tereptárgyak távolsága és azok fizikai tulajdonságai.³¹

Az egészségkársító hatást nem csak a test vagy szervezet felgyorsulása okozhatja, hanem a becsapódás is, vagyis a lassulás. Amikor a test valamilyen masszív felülethez csapódik és a szervek magához a test falához préselődnek, akár végzetes sérülések is kialakulhatnak és akkor még nem esett szó a becsapódás helyéről, amely szintén a sérülések széles skáláját vonultathatja fel.³²

A gyorsulás és lassulás hatására kialakuló sérülések az egyszerű felületi horzsolásoktól, zúzódásoktól egészen a gerinc és a fej sérüléséig egy széles spektrumot ölelhetnek fel. Az említett két hatás általában néhány másodperc alatt bekövetkező jelenség, amely további egészségkárosító hatást eredményezhet. A két hatás okozta károsodás elméleti mértékét kísérleti próbarobbantásokkal próbálták igazolni a '80-as évek végén.³³

³⁰ DARUKA 2021: 71.

³¹ SUSÁNSZKY 1994a: 19-20.

³² DARUKA 2021: 72.

³³ SUSÁNSZKY 1994b: 18-19.

Repezhatás

A robbanás hatására kinetikus energiával rendelkező, szilárd halmazállapotú tárgyakat repeszeknek nevezzük. A repesz eredete alapján két csoportba sorolható:

- elsődleges repesz alatt a robbanóeszközből³⁴, robbanótestből³⁵ származó, legtöbbször a robbanóanyag burkolatának szétvetését vagy az eredetileg repesznek szánt tárgyakat értjük;
- másodlagos repesz alatt a robbanás hatására, annak lökéshulláma által felkapott anyagokat – melyek nem voltak részei a robbanószerkezetnek – értjük.

A repeszek anyaga lehet szervetlen vagy szerves: fa, kerámia, kőzet, fém, üveg, műanyag, állati vagy emberi eredetű stb. Alakjuk lehet szabályos (pl. golyó) vagy szabálytalan (pl. a robbanás alakítja ki a geometriát).



A szabályos alakú repeszek többnyire lövésszerű sérüléseket okoznak, melyek könnyebben gyógyulnak, szemben a szabálytalan alakú, sokszor éles felületű, pörgő-forgó repeszekkel, amelyek a szöveteken történő áthaladás közben súlyos roncsolást képesek okozni.

6. számú ábra. Tüzeshordó³⁶

Azoknál a robbanószerkezeteknél, amelyeknél az alkalmazás célja az ölőhatás fokozása, ott a robbanószerkezet burkolatát gyakran repeszképző kialakítással tervezik (pl. védő kézigránát), illetve repeszképző anyagot (pl. fémhenger, golyó) helyeznek el a robbanótestben, ezzel biztosítva robbanáskor az elsődleges repeszek képződését.

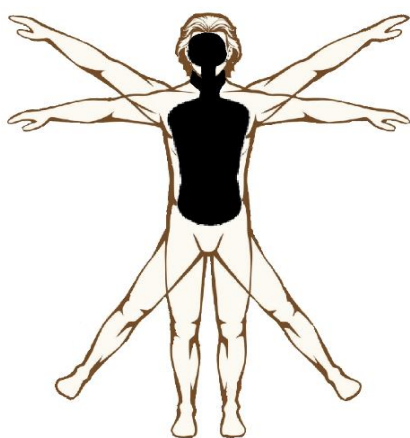
³⁴ Robbanóeszköz: minimálisan robbanószeret (töltet) és a robbanás indításához szükséges gyújtószerkezetet (detonátor) tartalmazó tárgy.

³⁵ Katonai felhasználásra rendszeresített, robbanóanyagot tartalmazó elhagyott (alkalmazott) hadianyag, eszköz és szerkezet.

³⁶ BUNYITAI Ákos saját készítésű felvétele.

„Robbanás során a legsúlyosabb sérültek az epicentrumhoz közel helyezkednek el, ők általában a robbanási túlnyomás következtében fellépő elváltozások miatt meghalnak. A robbanás középpontjától távolabb a légnyomásváltozás már nem érvényesül akkora mértékben, viszont a robbanótestből és környezetéből származó fragmentumok akár több száz méterre képesek elrepülni és sérüléseket okozni.”³⁷

A védelmi megoldások tekintetében különösen fontos, hogy az emberi testen azokat a részeket védjük, amelyek a legveszélyeztetettebbnek számítanak, és azok sérülése az egyén életét is követelheti.



Az emberi szervezet legveszélyeztetettebb részét képezi a fej, a nyak, a mellkas és az altest a repeszek becsapódásával vagy behatolásával szemben.³⁸

A repeszszérülések súlyossága a robbanás epicentrumától távolodva is széles skálán mozog a könnyű és a halálos kimenetelű között, tekintettel arra, hogy a repeszek nyílt terepen akár több száz méteres távolságba is elrepülhetnek.

7. számú ábra. Az emberi test repeszhatással szemben kritikus felületei

A tanulmánynak nem célja vizsgálni a lehetséges védőfelszereléseket, azonban véleményünk szerint az nem elvárható, hogy a világ bármely pontján, a nap 24 órájában arra készüljünk, mikor következik be valamilyen robbantásos támadás. A védőfelszerelések viselésének fő célpontjai azok a – főként rendvédelmi területeken szolgáló – személyek, akik mindennapi tevékenységük során ki vannak téve a robbanás emberi szervezetre gyakorolt esetleges hatásainak.

Ha a feladataink végrehajtása során esetleg látunk egy védőfelszerelést viselő személyt, akkor minél gyorsabban hagyjuk el a helyszínt.

³⁷ HERNÁD 2013: 98.

³⁸ SUSÁNSZKY 1994b: 20.

A robbanás tárgyakra, épített és természeti környezetre gyakorolt hatása

Környezetünket tekintve megállapítható, hogy az azt alkotó építési alapanyagok rendkívül változatosak lehetnek. Az építési anyagok között a fa, a kő, az égetett téglá, a beton, az acél, az üveg és manapság a műanyag is megtalálható. Ezek az anyagok eltérő mechanikai, statikai, korrózióállósági és egyéb más tulajdonságokkal is rendelkeznek. Az egyes épületszerkezetek – legyen az az alap, a tartószerkezet, a térelhatároló szerkezetek, a tetőszerkezet vagy akár a nyílászárók – különböző kivitelezési, építési módszerei, technológiai szintén széles skálán mozognak. Az egyes építményeket funkciójuk alapján megkülönbözteti a vonatkozó 1997. évi LXXVIII. törvény az épített környezet alakításáról és védelméről (2.§) az alábbiak szerint:

- Épített környezet: „a környezet tudatos építési munka eredményeként létrehozott, illetve elhatárolt épített (mesterséges) része, amely elsődlegesen az egyéni és a közösségi lét feltételeinek megteremtését szolgálja.”
- Építmény: „építési tevékenységgel létrehozott, illetve késztermékként az építési helyszínre szállított – rendeltetésére, szerkezeti megoldására, anyagára, készültségi fokára és kiterjedésére tekintet nélkül –, minden olyan helyhez kötött műszaki alkotás, amely a terepszint, a víz vagy az azok alatti talaj, illetve azok feletti légtér megváltoztatásával, beépítésével jön létre (az építmény az épület és műtárgy gyűjtőfogalma).”
- Épület: „jellemzően emberi tartózkodás céljára szolgáló építmény, amely szerkezeteivel részben vagy egészben teret, helyiséget vagy ezek együttesét zárja körül meghatározott rendeltetés vagy rendeltetésével összefüggő tevékenység, avagy rendszeres munkavégzés, illetve tárolás céljából.”
- Műtárgy: „mindazon építmény, ami nem minősül épületnek és épület funkciót jellemzően nem tartalmaz (pl. út, híd, torony, távközlés, műsorszórás műszaki létesítményei, gáz, folyadék, ömlesztett anyag tárolására szolgáló és nyomvonalas műszaki alkotások).”

Sokan talán nem is tudják, hogy az építés-, illetve építőmérnöki tervezés megkezdése előtt célszerűen meg kell határozni, hogy az adott építmény milyen terhekkel, terhelésekkel szemben legyen ellenálló és milyen mértékben. Ennél a tervezési folyamatnál figyelembe kell venni az építmény önsúlyból eredő saját terhelését, a hó-, a szél-,

illetve a járulékos terheket, de ezeket még hosszasan sorolhatnánk. Azt azonban sokan elfelejtik, hogy a robbanások hatásai ellen történő méretezésnek is ebbe a tervezési fázisba kellene tartoznia, amely kevés helyen bevált gyakorlat.

A robbanás következtében kialakuló hatások nem csak az élő szövetekre, de a tárgyakra, a természetes és épített környezetre is negatívan hatnak. Ilyen negatív hatások közé sorolható a hőhatás, a túlnyomás, a szeizmika, illetve a repeszhatás is.

Hőhatás

A robbanás, mint rendkívül gyors kémiai átalakulás során felszabaduló termikus energia a környezetben található tárgyak anyagszerkezetében lokális elváltozásokat hoznak létre. Mindez annak köszönhető, hogy a robbanóanyagban a detonáció – vagyis a robbanás azonos sebességgel történő terjedésének – hatására több száz bar nyomású gázok fejlődnek, melyek hőmérséklete elérheti a 3000 – 4000 °C-ot is.³⁹ A robbanás ezen a hőmérsékleten, normál légköri nyomáson, lokálisan megolvaszthatja akár a wolframot ($T_{olv}=3422$ °C), a gyémántot ($T_{olv}=3547$ °C) vagy a kerámiát ($T_{olv}=3870$ °C) is.⁴⁰

Számos vizsgálat folyt és folyik jelenleg is az építőanyagok hőterhelhetőségének vonatkozásában. A hazai építési szokásokat és tendenciákat szem előtt tartva jelenleg a vasbeton, illetve a homogén fém-szerkezetek vizsgálatai élveznek elsőbbséget.

A robbanásból eredő magas hőmérséklet jelentős befolyással bírhat a vasbetonszerkezetek fémvasalására. „A vasbeton szerkezetekről a betonból távozó víztartalom hatására a betontakarás lepattogzik, a védtelenné váló acélszálak a magas hőmérsékleten megolvadnak”.⁴¹ Ismeretes továbbá, hogy az acélszerkezetek magas hő hatására rugalmatlan alakváltozást szenvednek, deformálódnak, veszítenek szilárdságukból és merevségükből.

Fontosnak tartjuk megemlíteni, hogy a robbanás hatására keletkező hőmérséklet időbeni hatása csak rövid időtartamban értelmezhető, hiszen a robbanás hatására kialakuló tűzgömb is csak pillanathatású. Ahhoz, hogy ez a szerkezeti elemekben maradandó és visszafordíthatatlan szilárdságvesztéssel járjon, az szükséges, hogy egyéb éghető

³⁹ ROMÁN 2015: 64.

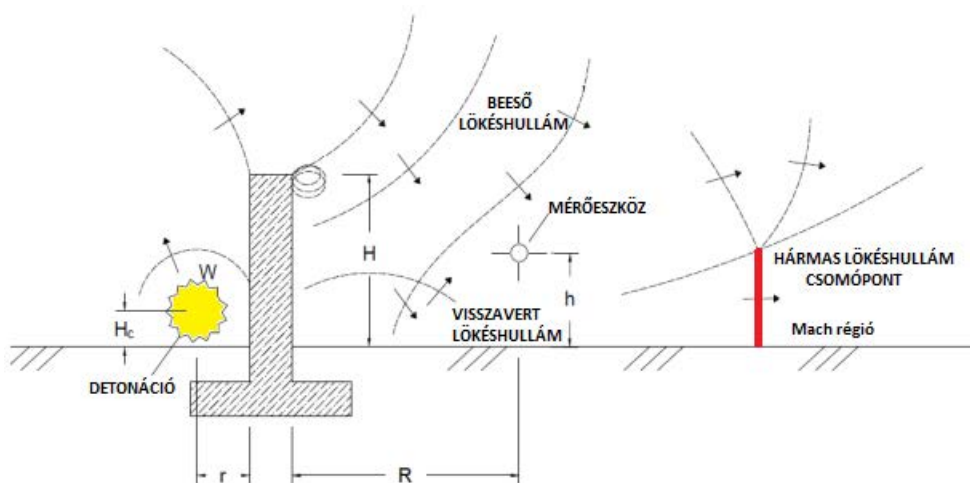
⁴⁰ BUNYITAI 2023: 24.

⁴¹ BALOGH 2013: 67.

anyag is a károsodott szerkezeti elem közvetlen közelében legyen, és a robbanás hatására az oxidálódjon. Ez azért fontos feltétel, mert a robbanás hatásai megrongálhatják a vasbetonszerkezetet, leverhetik a külső betonréteget a szerkezeti stabilitást biztosító fémrácsról és ezáltal az közvetlenül ki lesz téve a meggyulladt anyagok égéshőjének.

Túlnyomás

Az elmúlt években bekövetkezett, robbanószerkezetekkel elkövetett terrortámadások egyik eredménye az volt, hogy megnövekedtek az igények az építmények (katonai és polgári egyaránt) védelmi kialakítására. A különböző építmények túlnyomás (léglökés) elleni szerkezeti tervezési folyamata megköveteli a robbanás okozta terhelések pontos előrejelzését. Ebben a tekintetben fontos jellemző a túlnyomás és az impulzus időtartamának minél pontosabb ismerete. A szükséges paraméterek alapján lehet csak precízen végrehajtani a szerkezeti elemek, burkolatok, falak, tetőszerkezet, nyílászárók méretezését. Az egyik legelterjedtebb megoldás – általában rendvédelmi és katonai objektumoknál megfigyelhető –, hogy védőfalakat, terelőgátakat létesítenek a védendő épületek és a bennük tartózkodók védelme érdekében. Azonban ezeknek a védőfalaknak a megtervezése is nagy körültekintést és szakmai tudást igényel.⁴²



8. számú ábra. Fügőleges terelőfal terelési ábrája⁴³

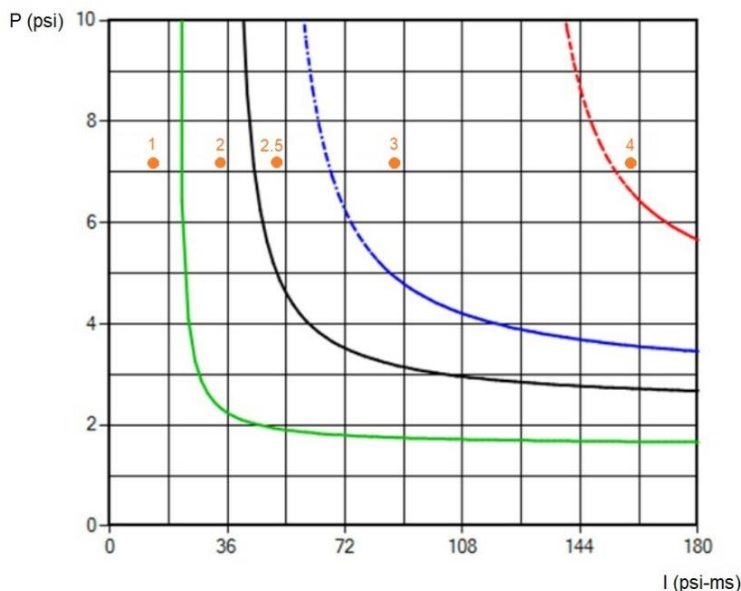
⁴² BEYER 1986.

⁴³ BEYER 1986. alapján szerkesztették a szerzők. Az ábrán látható „Mach” egy dimenzió nélküli mennyiség a folyadékdinamikában, amely a határon túli áramlási sebesség és a helyi hangsebesség arányát jelenti.

Az ábrán jól látható, hogy ha egy lökeshullám a terelőfalat eléri, annak egy része visszaverődik a fal elülső felületén. Abban az esetben, ha egy akadály vagy annak valamelyik eleme rugalmas, vagyis a lökeshullám hatására deformálódik, a robbanás energiájának egy bizonyos része elnyelődhet az akadályon. Az is csillapíthatja a lökeshullám erejét, hogy a beeső és a terjedési hullámok találkoznak és csökkenthetik egymás erejét. Sajnos, egyes esetekben úgy is találkozhatnak, hogy erősíteni képesek egymást egy adott irányban, amely még jobban károsíthatja a védendő létesítményt. A tervezések során azt is figyelembe kell venni, hogy a lökeshullám képes áthatolni az akadály áteresztő felületein vagy az akadályon belüli nyílásokon, így annak erejével akár több épületen áthaladva is számolni kell.

A nem hagyományos – lépcsőzetes, alakos, nyitott felületű – akadályok, terelőelemek mögött fellépő robbanási terhelésekről azonban csak korlátozott információk állnak rendelkezésre. Ez annak is köszönhető, hogy az akadály vagy annak egyes részei nem úgy viselkednek, ahogy statikus szerkezettől az elvárható lenne.⁴⁴

Az egyes építmények romosodási szintjei adott robbanásra, adott szerkezetre a robbanás nyomás-impulzus görbén szemléltethető.



9. számú ábra. Impulzus-nyomás görbén jelölt épületromosodási szintek (BDL 1-4)⁴⁵

⁴⁴ XIAO 2019: 3.

⁴⁵ RAIBAGKAR 2010. alapján szerkesztette Bunyitai Ákos.

ahol a

- zölddel jelölt görbe: BDL 1 szint (kisebb romosodás);
- feketével jelölt görbe: BDL 2 szint (mérsékelt romosodás);
- késsel jelölt görbe BDL 2.5 szint (erős romosodás);
- pirossal jelölt görbe BDL 3 szint (jelentős romosodás);
- piros görbe feletti terület BDL 4 szint (összeomlás).

A főként ipari létesítmények kockázatmenedzsmentjével foglalkozó, San Antonio-i székhelyű Baker Engineering and Risk Consultants, Inc. szenior mérnöke, Anay P. Raibagkar 2010-es előadásában robbanás impulzus-nyomás relatív görbén prezentálta (9. ábra) az épületek romosodási szintjeit⁴⁶ a szerint, hogy a lakók milyen valószínűséggel sérültek vagy haltak meg. A diagram segítséget nyújt a romosodott épületek robbanásának vizsgálatában is.

A példaként ábrázolt (1-4) pontokban (narancssárgával jelölve) az épületben tartózkodók sérülési valószínűsége⁴⁷

- $OV_1 = 0,01\%$;
- $OV_2 = 0,03\%$;
- $OV_{2.5} = 3\%$;
- $OV_3 = 30\%$;
- $OV_4 = 90\%$



10. számú ábra. Épületromosodási szintek⁴⁸

⁴⁶ Az épületek romosodási szintjei – BDL – Building Damage Levels.

⁴⁷ OV – Occupant Vulnerability or Likelihood of Fatality – az épületben tartózkodók sérülési vagy halálozási valószínűsége

⁴⁸ RAIBAGKAR 2010. alapján szerkesztették a szerzők.

A 10. ábrán látható épületromosodási szintek a gyakorlatban a 9. ábrán láthatókkal jellemezhetők. A diagram és a hozzá tartozó példák segítséget nyújthatnak egy bekövetkezett robbanást követően az épületek veszélyességének besorolásában.

Az épületek romosodását leginkább a robbanástól való távolság befolyásolja. Minél nagyobb mértékű a túlnyomás értéke, annál nagyobb romosodást tud végezni. Természetesen, az érintett terület beépítettsége, illetve a terjedési hullámok erejének csökkenése vagy adott esetben akár növekedése is befolyással lehet erre. Arra is van példa, hogy jelentős üvegfelületekkel rendelkező építmények közelében történt robbanáskor a tartószerkezetek nem károsodtak, kizárólag a nyílászárók rongálódtak, és a túlnyomás egyszerűen áthaladt az épületen.

Szeizmika

A mértékadó töltet felrobbantását kísérő vibrációra az emberi test rendkívül érzékeny, az érzékelés alsó határa $0,2 \text{ mm/s}$.⁴⁹ A robbanást kísérő, néhány másodperces, 5-100 Hz közötti, kis, 3 mm/s rezgés nem jár (közvetlen) személyi sérüléssel, egyes építmények károsodása azonban már bekövetkezhet.

Az építményekre vonatkozó, legnagyobb, még megengedhető rezgési sebességértékek esetében meg kell különböztetnünk a statikailag stabil, bizonytalan, illetve a nem teljes értékű építményeket.

„...bármilyen kis rezgés is károsító, éppen ezért kategorikusan kijelenteni, hogy a még megengedett legnagyobb rezgési sebesség alatt kár nincs, fölötte pedig van, nem lehet. Amennyiben a károsodott építmény oldaláról közelítjük a kérdést, azt kell eldönteni, hogy az építményen volt-e olyan szerkezeti elem, amely valamilyen oknál fogva nem viselte el a rezgéseket, és miért viselte el egy másik építményen vagy ugyanezen építményen egy másik elem. Már ebből a két szempontból is nyilvánvaló, hogy a bekövetkező és a be nem következő károkra statisztikát lehetne készíteni és ezek értelmezéséhez a valószínűségszámítást segítségül lehet hívni.”⁵⁰

⁴⁹ Dr. FÖLDESI János, Óbudai Egyetem Robbantástechnikai szakmérnök képzés, Bányászati robbantástechnika című előadásában elhangzott érték. 2023.03.11.

⁵⁰ KIS 2006: 84.

ÉPÍTMÉNYEKRE VONATKOZÓ, LEGNAGYOBB, MÉG MEGENGEDHETŐ REZGÉSI SEBESSÉGÉRTÉKEK

1. számú táblázat⁵¹

Osztály	Az épület leírása	V _m [mm/s]	
		0-30 Hz	100 Hz
I.	Statikailag bizonytalan, megrongálódott építmény, műemlék, nyomás alatt lévő csővezeték	2	4
II.	Panelház és statikailag nem teljes értékű építmény	5	10
III.	Statikailag kifogástalan építmény, torony, kémény	10	20

A polgári robbantástechnika területén általánosan tekinthető, hogy későbbi kellemetlenségek elkerülése érdekében a robbantásvezetők mérik a robbantás során keletkező rezgési sebességet és ezt dokumentálják is. Ha valaki úgy gondolja, hogy az adott robbantás miatt kár keletkezett a saját tulajdonában, akkor ezek az adatok bizonyítékként szolgálhatnak annak megcáfolására, esetleg alátámasztására.

Repsz

A repeszekről már esett szó a robbanás emberi szervezetre gyakorolt hatásánál, ezért az ott említett tulajdonságokat és jellemzőket nem kívánjuk megismételni. Ki kell azonban térni a szabálytalan alakú repeszek legmeghatározóbb jellemzőire. Ezekre a repeszekre az alábbi tulajdonságok jellemzők:

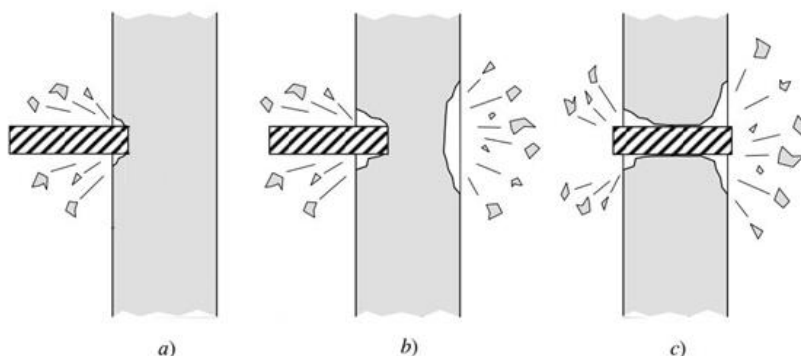
- a „repszformát” a robbanás alakítja ki;
- a repeszek nem szabályos geometriai formák, többnyire „penge” alakúak;
- csak bizonyos jellegzetességgel hasonló formájúak;
- általában nagy a repeszek méret- és tömegszórása;
- felületük éles, szabdalt, esetenként fogazott;
- a repeszek sebességének szórása nagy és még csak közelítőleg sem számítható.

⁵¹ KIS 2006: 80 alapján szerkesztették a szerzők.

A repeszek az építmények szerkezeteivel szemben – kinetikus energiájuk, illetve a szerkezet fizikai és geometriai jellemzőinek függvényében – behatolhatnak vagy akár teljes keresztmetszetében át is üthetik azokat. Különösen fontos, hogy a repesz építményszerkezeti elembe történő becsapódásának következményeként újabb repeszek képződnek. A védelem szempontjából releváns információ, hogy az adott szerkezeti elemnek milyen funkciója van és milyen környezetbe kerül beépítésre:

- Fedezékül szolgál-e az ott tartózkodó élőerő számára. A belső, védendő oldalon repeszleválás sem engedhető meg!
- Passzív mechanikai védelmi elemként kerül létesítésre, számításba véve, és mögötte repeszérzékeny berendezések helyezkednek el (például szerverek). A belső, védendő oldalon repeszleválás sem engedhető meg!
- Passzív mechanikai védelmi elemként kerül létesítésre, számításba véve, és mögötte nem repeszérzékeny berendezések helyezkednek el (például a csarnoképület közepén, robosztus felépítésű turbina). Megengedhető kis mértékű repeszképződés, de áttörés már nem!
- Általános térelhatároló funkcióként létesül, és nem vesszük számításba védelmi funkcióit (például raktár). Egy esetleges repeszperforáció sem okoz fennakadást az üzletmenet folytonosságában.

Különösen védelmi funkciójú létesítmények esetében azzal a méretezéssel és kialakítással kell számolni, hogy a létesítményben tartózkodó személyek ne sérüljenek meg egy-egy robbanás okozta repeszhatás következtében.



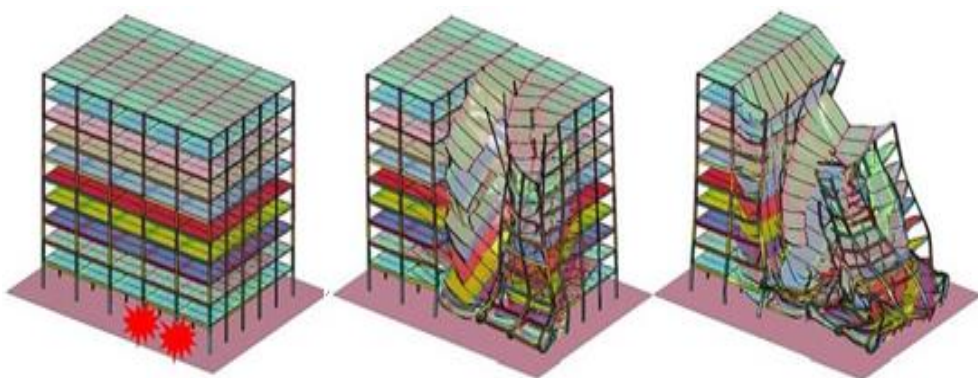
11. számú ábra. Vasbeton fal viselkedése merev test becsapódása esetén⁵²

⁵² ABDEL-KADER – FOU DA 2012. alapján szerkesztette Bunyitai Ákos.

Számos megoldás létezik az épületek külső és belső felületének utólagos védelmi átalakításához. Szigetelőanyagok és szigetelőhabok több típusa is alkalmas lehet ennek a funkciónak az ellátására, a fóliák és műanyagalapú rácsszerkezetekről nem is beszélve.

Progresszív összeomlás

A létesítmények robbanás hatására történő viselkedésével kapcsolatosan fontos bemutatni az úgynevezett közvetett vagy progresszív összeomlás jelenségét.



12. számú ábra. Progresszív összeomlás modellezése
vázszerkezetes épületnél⁵³

Progresszív összeomlás során a robbanáshoz közeli elsődleges teherhordó vagy akár gyengébb, térelhatároló szerkezeti elem helyi tönkremenetele a szomszédos elemek túlterheléséhez vezet, a megmaradt szerkezet egyre kevésbé képes az önsúlyát hordani, amely az építmény – kártyavárhoz hasonló – részleges vagy teljes összeomlásához vezethet.

Ez a jelenség figyelhető meg például az Alfred P. Murrah szövetségi épületnél Oklahoma Cityben. Ott egy robbanóanyaggal megrakott teherautó felrobbanása okozott óriási katasztrófát. A terrorrobbantások hatására, illetve a progresszív összeomlás elkerülése érdekében – az építész tervezők munkáját segítve – az USA Védelmi Minisztériuma nyíltan hozzáférhető útmutatót készített⁵⁴, mely útmutatót azóta is alkalmazza és továbbfejleszti.

⁵³ Structural Guide alapján szerkesztették a szerzők.

⁵⁴ U.S. Department of Defense (DoD): Unified Facilities Criteria (UFC) UFC 4-023-03 Design of Buildings to Resist Progressive Collapse.

Összefoglalás

A robbanás során keletkező hő, túlnyomás, repeszhatás, vibráció, illetve a por és mérgező gőzök – eltérő nagyságban ugyan – hatással vannak a robbanás élő és élettelen környezetére. Tanulmányunkban bemutatásra kerültek azok a hatások, melyek egy bűnös célú/terror jellegű robbantás során közvetlenül jelentkeznek az emberi szervezet, az épített vagy természeti környezet vonatkozásában Alátámasztva a témában közölt korábbi kutatási eredményeket, ismételten megállapítást nyert, hogy a robbanás pusztító hatásának mértéke főként a felrobbant robbanóanyag-mennyiség és a robbanástól való távolság függvénye.

Bemutatásra kerültek a robbanás hatásai, és megállapítást nyert, hogy az adott létesítményi funkció fenntartása és az üzemeltető személyzet megóvása érdekében a kiemelt létesítményeket – a robbanás negatív hatásaival szemben – megfelelően hatékony védelemmel szükséges ellátni.

Megnyugtatónak tekinthetők azok a kezdeményezések, melyek a bekövetkezett támadások tudatos feldolgozásának következtében, a védelmi funkciók hatékonyságának növelését célozzák. Sajnos, az ilyen kezdeményezések jellemzően akkor kerülnek támogatásra, ha egy közvéleményt is jelentősen befolyásoló támadás már bekövetkezett.

Felhasznált irodalom

- LUKÁCS László (2017): Szemelvények a magyar robbantástechnika fejlődéstörténetéből; Budapest, Dialóg Campus Kiadó 2017., 342. ISBN 978-615-5680-35-9. Online: <https://webshop.ludovika.hu/termek/konyvek/hadtudomany/szemelvenyek-a-magyar-robbantastechnika-fejlodestortenetebol/>.
- DARUKA Norbert (2010): A bűnös célú/terrorista robbantások és az ellenük való védekezés lehetőségei. Műszaki Katonai Közlöny, 20. 2010., 1–4. 229–242.
- DARUKA Norbert (2012): Terroristák és taktikák, avagy védekezz, ha tudsz. Repüléstudományi Közlemények Online folyóirat XXIV. 2012/2, 33–41.
- BUNYITAI Ákos (2023): Kiemelt létesítmények bűnös szándékú robbantás elleni védelmének lehetőségei. Óbudai Egyetem BGK Robbantástechnikai szakmérnök/ szakember szakirányú továbbképzés, Szakdolgozat 2023., 103.

- LUKÁCS László (1997): A katonai robbantástechnika és a környezetvédelem - egyetemi jegyzet, ZMNE Hadtudományi kar, Műszaki harcászati-hadműveleti tanszék, Budapest, 1997.
- FÖLDESI János (1988): Bányászati robbantástechnika I., Nehézipari Műszaki Egyetem Bányamérnöki Kar, Tankönyvkiadó, Budapest, 1988.
- Bellamy, ZAJTCHUK (2010): Pathology of Blast and Impact Injuries. In: R. Bellamy, R. Zajtchuk (Eds.), Textbook of Military Medicine. Conventional Warfare, Ballistic, Blast and Burn Injuries, Part 1. Vol. 5, pp. 221-240. 2010.
- DARUKA Norbert (2021): A robbanóanyag-ipari termékek gyártásának és felhasználásának munkavédelme. Óbudai Egyetem BGK Munkavédelmi szakmérnök/szakember szakirányú továbbképzés, Szakdolgozat 2021., 119.
- Dr. med. HERNÁD Mária (2013): A robbanás és a robbanóanyagok emberi szervezetre gyakorolt hatásai és megelőzésének lehetőségei. Doktori (PhD) értekezés, Nemzeti Közszolgálati Egyetem KMDI, Budapest, 2013.
- KIS Miklós (2006): Robbantások szeizmikájának problémái. Robbantástechnika, A Magyar Robbantástechnikai Egyesület tájékoztatója 26. szám, 2006. december. pp. 69-102.
- SUSÁNSZKY Zoltán (1993): A robbanás emberre gyakorolt hatása I., Műszaki Katonai Közlöny 1993/4 pp. 3-18.
- SUSÁNSZKY Zoltán (1994 a): A robbanás emberre gyakorolt hatása II., Műszaki Katonai Közlöny 1994/1 pp. 19–28.
- SUSÁNSZKY Zoltán (1994 b): A robbanás emberre gyakorolt hatása III., Műszaki Katonai Közlöny 1994/2 pp. 3–24.
- 1997. évi LXXVIII. törvény az épített környezet alakításáról és védelméről.
- ROMÁN Zsolt (2015): Robbantásos merényletek elemzése, ellenük való védekezés és annak építményvédelmi vonatkozásai. Doktori (PhD) értekezés, Óbudai Egyetem BDI, Budapest, 2015.
- BALOGH Zsuzsanna (2013): Objektumok robbantásos cselekmények elleni védelmének lehetőségei. Doktori (PhD) értekezés, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Budapest, 2013.

- BEYER, M.E. (1986): Blast Loads Behind Vertical Walls, in 22nd Minutes of the Explosives Safety Seminar, Anaheim, California, 26th-28th August 1986, Defense Technical Information Center.
- Weifang XIAO (2019): Experimental and Numerical Investigations on the Effectiveness of Protective Barriers against Air Blast. PhD thesis, University of the Bundeswehr Munich: Neubiberg, Germany 2019. Online: <https://d-nb.info/1186723874/34>.
- Anay P. RAIBAGKAR (2010): Building Damage Levels. Baker Engineering and Risk Consultants, Inc. Online: <https://www.cheminst.ca/wp-content/uploads/2019/04/RB20Approach20to20Building20Design-1.pdf>.
- 27/2022. (I. 31.) SZTFH rendelet az Általános Robbantási Biztonsági Szabályzatról.
- Mohamed M. ABDEL-KADER – Ahmed A. FOUUDA (2012): Effect of Dividing concrete target on perforation resistance. Proceedings of the ICCAE-9 Conference, 2012 Online: https://iccae.journals.ekb.eg/article/44277_7bdc6592bb08f2b0daf5a9aede594e3e.pdf.
- Structural Guide. Online: <https://www.structuralguide.com/>.
- U.S. Department of Defense (DoD): Unified Facilities Criteria (UFC) UFC 4-023-03 Design of Buildings to Resist Progressive Collapse, 1st november, 2016.